DIE KRAFT DES MUSCULUS TRICEPS BRACHII

INAUGURALDISSERTATION

zur Erlangung der Doktorwürde der

HOHEN MEDIZINISCHEN FAKULTÄT

DER UNIVERSITÄT DES SAARLANDES

vorgelegt von

Edeltraud Haberkorn-Butendeich

Saarbrücken

1973

Aus dem Institut für Biomechanik der Deutschen
Sporthochschule, Köln
Direktor:Professor Dr. med. H. Groh

DIE KRAFT DES MUSCULUS TRICEPS BRACHII

I N A U G U R A L D I S S E R T A T I O N
zur Erlangung der Doktorwürde
der
HOHEN MEDIZINISCHEN FAKULTÄT
DER UNIVERSITÄT DES SAARLANDES
1973

vorgelegt von:
Edeltraud Haberkorn-Butendeich
geb. am 21.9.43 in Berlin

Dekan: Prof. Dr. med. H. Kulenkampff
Referent: Prof. Dr. med. H. Groh

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Termin der mündlichen Prüfung 29.8.73

M E I N E N E L T E R N

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1. Thematik und Definitionen	1
2. Messung der isometrischen und exzentrischen Maximallast (Tragfähigkeit) des m. triceps brachii	4
2.1. Untersuchungsmethoden	4
2.1.1. Versuchspersonen	4
2.1.2. Meßapparatur	4
2.1.3. Eichung des DMS-Dynamometers	8
2.2. Vorversuche	10
2.3. Hauptversuche	11
2.4. Ergebnisse	13
2.4.1. Isometrische Maximallast	13
2.4.2. Exzentrische Maximallast	14
2.4.3. Vergleich der isometrischen Maximallast mit der exzentrischen Maximallast	15
3. Berechnung der isometrischen und exzentrischen Maximalkraft des m. triceps brachii	17
3.1. Drehmomente	17
3.1.1. Drehmoment der Last	17
3.1.2. Drehmoment der Gewichtskraft von Unterarm und Hand	19
3.1.3. Drehmoment der Kraft des m. triceps brachii	20
3.1.3.1. Kraftarm des m. triceps brachii	21
3.1.3.1.1. Kraftarm des m. triceps brachii bei freiem Tricepssehnenverlauf	21
3.1.3.1.2. Kraftarm des m. triceps brachii bei geführtem Tricepssehnenverlauf	24
3.1.3.2. Maximalkraft des m. triceps brachii	28
3.1.3.2.1. Maximale isometrische Muskelkraft des m. triceps brachii	29
3.1.3.2.2. Maximale exzentrische Muskelkraft des m. triceps brachii	30
3.1.3.3. Drehmoment der isometrischen Kraft des m. triceps brachii	31

3.1.3.4. Drehmoment der exzentrischen Kraft des m. triceps brachii 32
4. Literaturvergleich und Diskussion der Ergebnisse 33
4.1. Isometrische und exzentrische Maximallast des m. triceps brachii 33
4.2. Isometrische und exzentrische Maximalkraft des m. triceps brachii 35
4.3. Differenz zwischen isometrischen und exzentrischen Werten und Statistik 37
4.4. Abhängigkeit der maximalen Muskelkraft von der Muskellänge des m. triceps brachii 39
4.4.1. Fadenmodell zur Messung der Verkürzung des m. triceps brachii im Armbeugebereich von 135°-0° 39
4.4.2. Rechnerische Ermittlung der Verkürzung des m. triceps brachii im Armbeugebereich von 135°-0° 40
4.5. Zur Frage der absoluten Muskelkraft 45
5. Zusammenfassung 47
6. Verzeichnis der Abbildungen 50
7. Verzeichnis der Tabellen 52
8. Literaturverzeichnis 54
9. Schlußbemerkung 59

1. THEMATIK UND DEFINITION

Die Arbeitsphysiologie unterscheidet zwischen statischer und dynamischer Muskelarbeit (ROHMERT, HETTINGER 1963)

Bei statischer Muskelarbeit bleibt die Länge des Muskels während der Kontraktion unverändert (isometrisch). Die Kontraktion des Muskels erfolgt gegen einen festen (unbeweglichen) Widerstand.

Bei dynamischer Muskelarbeit verändert der Muskel unter der Kontraktion seine Länge. Die Kontraktion erfolgt gegen einen beweglichen Widerstand und führt zu einer Bewegung. Bei der dynamischen Muskelkraft unterscheiden wir in Anlehnung an die Arbeitsphysiologie zwischen exzentrischer und konzentrischer Kontraktion (KOGI, MÜLLER, ROHMERT 1965).

Bei konzentrischer Kontraktion wird ein Widerstand überwunden die Bewegung wird beschleunigt und es resultiert daraus eine Muskelverkürzung.

Bei exzentrischer Kontraktion wird der zunehmende Widerstand nicht überwunden und es resultiert daraus eine Muskelverlängerung. Die Bewegung wird verzögert oder gebremst.

Zufällig zur gleichen Zeit haben ASMUSSEN, HANSEN, LAMMER (1965); außerdem KOGI, MÜLLER, ROHMERT (1965) und SINGH und KARPOVICH (1966) die Frage untersucht, ob die verschiedenen Formen der Kontraktion -isometrisch, exzentrisch, konzentrisch- verschieden hohe Maximalkräfte erzeugen. Die Ergebnisse stimmen dahingehend überein, daß verkürzende (konzentrische) Kontraktionen sehr viel kleinere Maximalkräfte erreichen als isometrische. Bei exzentrischer Kontraktion dagegen überschreiten die Maximalkräfte die isometrischen erheblich

Der bei Kraftmessungen am Dynamometer auftretende Wert wird im allgemeinen der aufgebrachten Muskelkraft gleichgesetzt. In Wirklichkeit wird vom Dynamometer lediglich die äußere Last, das Lastgewicht gemessen.

Bei statischen (isometrischen) Messungen läßt sich die dabei aufgebrachte Muskelkraft -bei Kenntnis der statischen Bedingungen des Systems- aus Momentengleichungen leicht bestimmen.

Da die Hebelarme der Muskeln in der Regel wesentlich kürzer sind als die Hebelarme der angreifenden Last und die Hebelarme der Gliederteilgewichte (Schwerpunkts- bzw. Trägheitsradien), müssen die Muskeln das Mehrfache an Kraft aufbringen als dem am Dynamometer gemessenen Lastwert entspricht.

Die statische Maximalkraft eines Muskels ist kein konstanter Wert sondern zeigt eine Abhängigkeit von der Muskellänge (SCHWANN 1837, HERMANN 1871).

Es gibt nur unbefriedigende Möglichkeiten, die Muskelkraft unter dynamischer Kontraktion zu berechnen (DOSS und KARPOVICH 1965). Durch die Bewegung ändern sich alle Parameter die bei der Betrachtung dynamischer Vorgänge berücksichtigt werden müssen wie z. B.: Weg, Geschwindigkeit, Beschleunigung, Trägheitsmomente, Kraftrichtung, Hebelarme.

Wählt man jedoch den Widerstand so groß, daß die Muskelverlängerung oder -verkürzung nur sehr langsam durchgeführt werden kann, so darf man annehmen, daß dabei quasi-statische Bedingungen bestehen. Die genannten Parameter, die zur Berechnung dynamischer Kräfte erforderlich sind, können dadurch unberücksichtigt bleiben.

Zur Definition der maximalen Muskelkraft sei E. A. MÜLLER (1968) zitiert :

"Das Vermögen, Kraft auszuüben, entspricht der größten wirksamen Kraft, die mit einer einzigen willkürlichen Kontraktion gegen einen nicht zu überwindenden Widerstand ausgeübt werden kann. Wir bezeichnen es als M A X I M A L K R A F T

des Muskels".

Durch fortgesetztes Training allerdings kann die Maximalkraft noch erhöht werden. Diese dann erreichte höchste Kraft wird von MÜLLER und ROHMERT (1963) als G R E N Z K R A F T bezeichnet und soll hier unberücksichtigt bleiben.

Das Ziel dieser Studie ist, die Berechnung der Maximalkraft des m. triceps brachii während isometrischer und exzentrischer Kontraktion im Armbeugebereich von 30° - 120°. Die Berechnung erfolgt aus den gemessenen maximalen Lastwerten anhand der wirksamen Drehmomente.

VP	Alter (Jahre)	Größe (cm)	Körper-gewicht (N)	Systemat. Training (Jahre)
1	22	172	643	4
2	29	187	697	10
3	24	175	647	4
4	24	168	687	8
5	24	182	731	18
6	23	173	694	8
7	22	177	731	12
8	26	182	774	18
9	23	181	735	13
10	23	175	666	8
11	23	175	697	20
12	21	182	798	9
13	22	188	919	8
14	22	179	675	6
15	19	167	626	10
16	23	175	763	10
17	24	167	690	9
18	22	177	682	6
19	22	179	810	8
20	26	186	883	2
21	20	176	650	2
22	23	176	712	12
23	23	189	930	7
24	24	167	605	12
25	22	170	724	6
26	21	181	793	9
27	26	175	745	10
28	21	181	749	1
29	22	176	588	9
30	23	184	760	5
31	19	192	780	11

Tab. : 1 Daten der Versuchspersonen

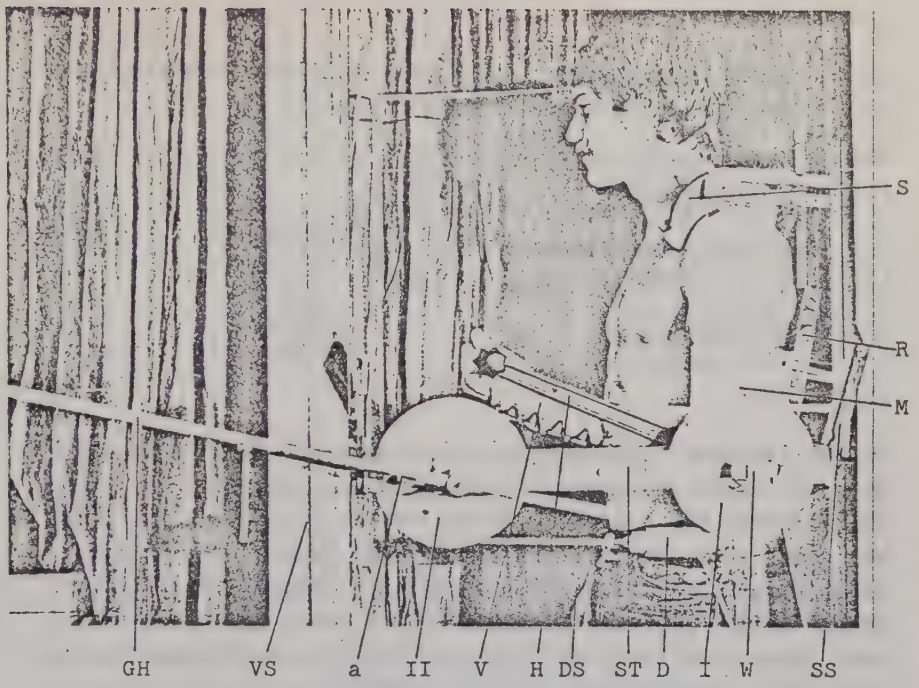


Abb. : 1 Armkraftmeßgerät des Institutes für Biomechanik

VS : Vierkantstahlrohr
SS : Stahlführungsschiene
ST : Stahlrahmen
I : kugelgelagerte Keilriemenscheibe I
II : kugelgelagerte Keilriemenscheibe II
DS : Drahtseil
D : DMS-Dynamometer
H : Hebelarm der VP
a : Arretierungsstift
GH : Gegenhebel der Untersucherin
S : Schulterhalterung
M : Oberarmmanschette
R : Rückenbrett
V : Lederbandage
W : Goniometer

2. MESSUNG DER ISOMETRISCHEN UND EXZENTRISCHEN MAXIMALLAST (TRAGFÄHIGKEIT) DES M. TRICEPS BRACHII

2.1 Untersuchungsmethoden

2.1.1 Versuchspersonen (Vpn)

Bei 31 gesunden Sportstudenten der Deutschen Sporthochschule Köln mit einem Durchschnittsalter von 22,7 Jahren (19 - 29 Jahre) wurde die maximale Strecklast des m. triceps des linken Armes unter definierten Bedingungen gemessen. Das Leistungsniveau der Studenten war ziemlich einheitlich. Sie hatten im Rahmen der Ausbildung zum Sportlehrer mindestens ein Jahr körperlich trainiert. Alle Versuchspersonen waren Rechtshänder. Die Untersuchung wurde einheitlich am linken Arm durchgeführt, um eventuelle Trainingsbesonderheiten auszuschalten (Tab. 1).

Tabelle 1
Daten der Versuchspersonen

2.1.2 Meßapparatur

Es wurde das am Institut für Biomechanik entwickelte Armkraftmeßgerät benutzt (Abb. 1).

Abbildung 1
Armkraftmeßgerät des Institutes für Biomechanik

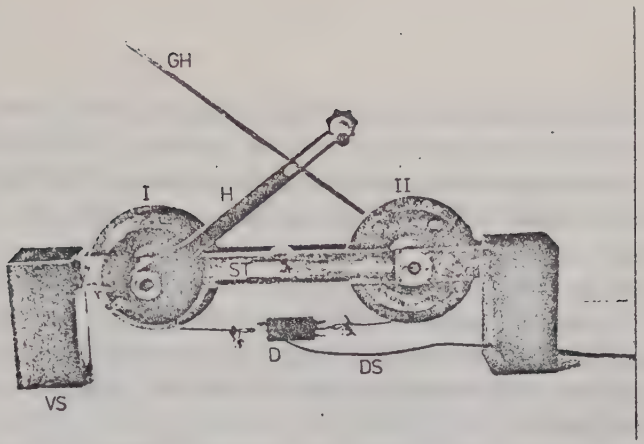


Abb. : 2a Meßapparatur -mechanischer Teil- von der der Vp zugewandten Seite aus gesehen

VS : Vierkantstahlrohr
ST : Stahlrahmen
I,II : kugelgelagerte Keilriemenscheiben I und II
DS : Drahtseil
D : DMS-Dynamometer
H : Hebelarm der Vp
a : Arretierungsstift
GH : Gegenhebel der Untersucherin
W : Goniometer

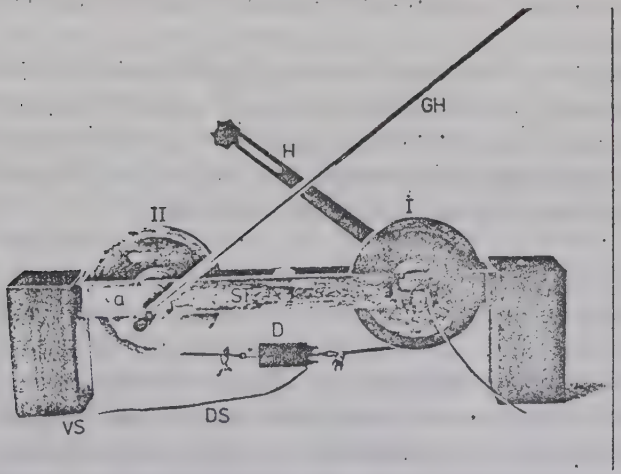


Abb. : 2b Meßapparatur -mechanischer Teil- von der der Vp abgewandten Seite aus gesehen

Das Gerät besteht aus 3 Vierkantstahlrohren (VS), die im Abstand von 0,65 m im rechten Winkel zueinander aufgestellt und an Fußboden sowie Decke befestigt waren. Zwischen 2 Vierkantstahlrohren befand sich als Querverbindung ein rechteckiger Stahlrahmen (ST), der in 2 Stahlführungsschienen (SS) lief und mit Knebelschrauben an den Vierkantrohren befestigt wurde. Dadurch konnte der Rahmen in Höhe und Breite verstellt werden. (In den Abbildungen 2a und 2b ist zur besseren Übersicht der Stahlrahmen (ST) mit seinem Zubehör isoliert dargestellt).

Abbildung 2a
Meßapparatur, mechanischer Teil
von der der Vp zugewandten Seite aus gesehen

Abbildung 2b
Meßapparatur, mechanischer Teil
von der der Vp abgewandten Seite aus gesehen

In dem Stahlrahmen (ST) liefen 2 kugelgelagerte Keilriemenscheiben (I, II) mit einem Radius von r = 10 cm. Sie waren durch ein Drahtseil (DS) fest miteinander verbunden. In das Drahtseil war ein Dehnungsmeßstreifen-Dynamometer (D) eingeschaltet. Das DMS-Dynamometer (D) war über einen Trägerfrequenzmeßbrückenverstärker mit einem Lichtstrahloscillographen (Oscilloport, Siemens) verbunden.

Auf der Achse der Keilriemenscheibe (I) (Abb. 1, rechte Scheibe) befand sich auf der der Vp zugewandten Seite der Hebelarm (H). Als Hebelarm diente eine stufenlos verstellbare Knarre. Diese Knarre konnte nach dem Prinzip der Rollensperre leicht von unten nach oben bewegt werden, während die Bewegung in entgegengesetzter Richtung gesperrt war. So konnte der Hebelarm (H) in der Beugerichtung auf den gewünschten Winkel genau eingestellt werden, während er für die Streckbe-

wegung blockiert blieb. Am freien Ende des Hebelarms (H) war rechtwinklig ein Griff angebracht, der auf den individuellen Lastarm (u) der Vp (= Strecke zwischen epikondylus lateralis humeri und capit. metacarpal.) eingestellt werden konnte.

Die 2. kugelgelagerte Keilriemenscheibe (II) war durch einen Stift (a) der durch den Stahlrahmen (ST) und die Scheibe geschoben wurde, arretiert. Auf der der Vp abgewandten Seite der Rolle (II) war auf der Achse in senkrechter Richtung ein Metallstab montiert. Dieser diente, wie später noch beschrieben, bei der exzentrischen Messung als Gegenhebel (GH).

Die Vp stand im rechten Winkel zu dem Stahlrahmen (ST). Hinter der Vp und zwischen 2 Vierkantrohren (VS) waren 2 weitere Vierkantrohre montiert und wie die ersten 3 an Fußboden und Decke befestigt. An diesen zusätzlichen Vierkantrohren befanden sich die Vorrichtungen zur Fixierung des Oberarmes der Vp in senkrechter Stellung : eine auf die individuelle Schulterhöhe der Vp verstellbare gepolsterte Schulterhalterung (S), die die Schulter von oben und vorne fixierte, eine verstellbare Oberarmmanschette (M),die auf dem m. biceps brachii auflag und den Oberarm senkrecht hielt und ein verstellbares Rückenbrett (R), an das die Vp angelehnt stand.

Der Unterarm der Vp war im Ellenbogengelenk im Sinne der Beugung und Streckung frei beweglich. Das Handgelenk wurde durch eine mit einer Stahlfeder verstärkten Lederbandage (V) versteift, welche die Finger inklusive Daumen sowie die Mittelhandköpfchen frei ließ. Der quere Handgriff des oben beschriebenen Gerätehebelarmes (H) wurde bei supiniertem Unterarm festgehalten, um andere Unterarmmuskeln auszuschalten (PROVINS, SALTER 1955).

Die Achse der Keilriemenscheibe (I) und damit auch des Hebelarmes (H) wurde so eingestellt, daß sie mit der queren Ellenbogengelenkachse, die sich auf den epikondylus lateralis hum. der Vp projizierte, übereinstimmte. Der quere Handgriff des Hebels (H) wurde so eingestellt, daß er auf den Mittelhand-

köpfchen der Vp auflag.

Bei der statischen Messung war die Rolle (II) durch den bereits erwähnten Metallstift (a) arretiert, so daß die Vp eine rein isometrische Kontraktion des m. triceps ausführte.

Zur Messung der exzentrischen Kontraktion wurde die Arretierung (a) der Rolle (II) gelöst. Die Untersucherin konnte anhand des Gegenhebels (GH), der etwa 7mal länger war als der Hebelarm (H) der Vp, mit geringem Kraftaufwand einen ausreichenden Zug auf den m. triceps der Vp ausüben, der den Arm aus seiner vorgegebenen Winkelposition gegen die Tricepskraft der Vp herauszog. Die Abweichung des Armes der Vp aus der vorgegebenen Winkelposition wurde von einem Goniometer (W) gemessen und synchron zu dem vom Dynamometer (D) gemessenen Lastwert vom Oscilloport aufgezeichnet. Der Lastwert, der im Zeitpunkt der Abweichung des Winkels aus dem vorgegebenen Bereich gemessen wurde, stellte den exzentrischen Lastwert dar.

Von den in jeder Winkelstellung 4mal gemessenen isometrischen und 2mal gemessenen exzentrischen Lastwerten wurde zur Auswertung nur der größte Wert verwendet. Dadurch konnte ein besserer Schätzwert für den maximalen Lastwert erwartet werden.

Es zeigte sich, daß der höchste Lastwert in der Regel bei der Wiederholungsmessung auftrat (DOSS und KARPOVICH 1965). Jede Vp machte daher 2 Kontraktionen unmittelbar nacheinander.

Durch die Rollenübertragung war der senkrechte Angriff der Last in jeder Winkelstellung des Armes zum Lastarm (u) gewährleistet. Der Lastarm (u) hatte also für jede Vp eine konstante Länge. Das erleichterte die spätere Umrechnung der Last in die Kraft.

Gewicht [N]	200	500	700	900	1000	1200
Ausschlag [mm]	17,6	44,0	61,6	79,2	88,0	106,0

Tab.: 2 Eichwerte des DMS-Dynamometers

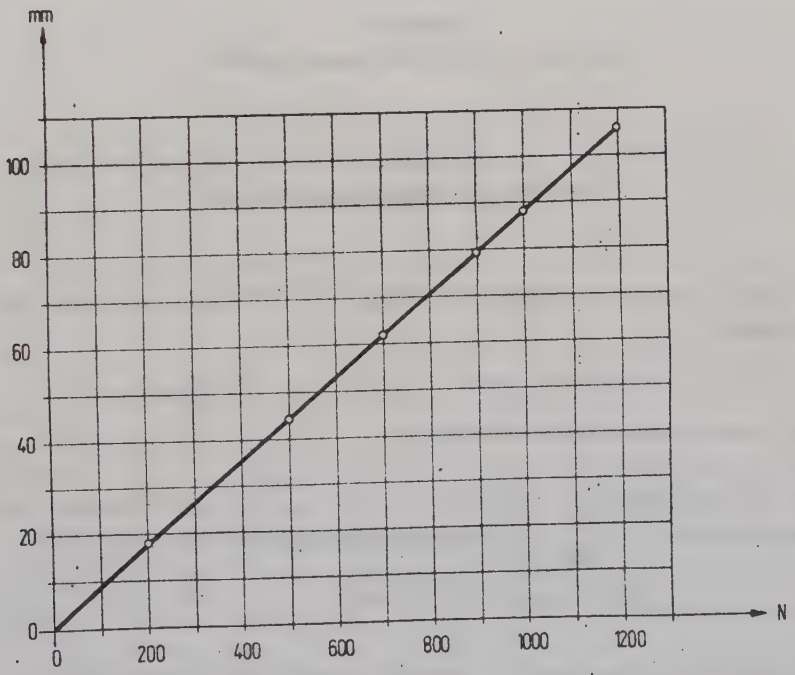


Abb.: 3 Eichkurve des DMS-Dynamometers

2.1.3 Eichung des DMS-Dynamometers

Die Teilgewichte von 200, 500, 700, 900, 1000 und 1200 N ergaben, an das DMS-Dynamometer angehängt die in Tabelle 2 aufgeführten Ausschläge in mm.

Tabelle 2
Eichwerte des DMS-Dynamometers

Abbildung 3
Eichkurve des DMS-Dynamometers

Es ergab sich ein linearer Anstieg der Eichkurve mit der Beziehung :

$$a = 0{,}09 \text{ mm/N} \quad \text{oder} \quad a = 11 \text{ N/mm}$$

bei einem Ablesefehler von 3%.

Die an der Meßzelle gemessene Kraft (P) setzt sich zusammen aus dem Eichfaktor $a(\frac{N}{mm})$ und dem Schreiberausschlag A(mm) :

$$P(N) = a \cdot A \left(\frac{N}{mm} \cdot mm\right) \qquad (2.1)$$

Berücksichtigt man bei der Messung in der Versuchsanordnung den Hebelarm der Rolle (I) mit dem Radius r = 10 cm, so ist anhand der Drehmomentengleichung die Kraft (P) an der Meßzelle mal dem Lastarm (r) gleich der Last (L) am Ende des Lasthebels in der Versuchsanordnung mal der Länge des Lasthebels (u) :

$$P \cdot r = L \cdot u$$

daraus ergibt sich für L :

$$L = P \cdot \frac{r}{u} \text{ (N)} \qquad (2.2)$$

Aus Gleichung (2.1) in Gleichung (2.2) eingesetzt ergibt sich:

$$L = a \cdot A \cdot \frac{r}{u} \text{ (N)}$$

und mit den vorgegebenen Zahlenwerten :

$$L = 11 \cdot A \cdot \frac{100}{u} \text{ (N)}$$

$$L = 1100 \frac{A}{u} \text{ (N)}$$

2.2 Vorversuche

Die Vorversuche dienten dazu, festzustellen, in welcher zeitlichen Reihenfolge die Messung der Maximallast und damit der maximalen Anspannung des m. triceps durchgeführt werden sollten, ohne daß es zu einem Ermüdungseffekt kommen würde. Eine Vp führte in 2 Durchgängen 36 maximale isometrische Kontraktionen des m. triceps in folgenden zeitlichen Abständen durch: Die Untersuchung wurde im ersten Durchgang in einer Beugestellung von 75° und im zweiten Durchgang in einer Beugestellung von 30° (vollständige Streckung = 0°) durchgeführt. Eine Vp führt unmittelbar hintereinander 2 Maximalkontraktionen von je 1 bis 2 Sekunden Dauer durch. Nach jeder Doppelkontraktion wurde eine Pause von 5 Minuten eingeschaltet. Nach 9 Doppelkontraktionen, wurde eine Pause von 30 Minuten eingeschaltet. Danach folgten weitere 9 Doppelkontraktionen mit 5minütigen Pausen.

Bei der Armbeugestellung von 75° ergab sich ein Mittelwert $\bar{x}$ = 143 N (Standardabweichung s = 4,6 N; Variabilitätskoeffizient v = 3,2%). Bei der Beugestellung von 30° betrug der Mittelwert $\bar{x}$ = 116 N (s = 2,9 N; v = 2,5%).

Der Vorversuch ergab : daß kein Ermüdungseffekt eintrat, somit die Pausen lang genug waren.

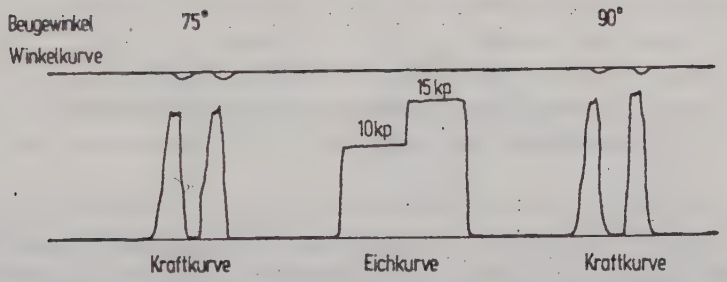


Abb.: 4 Winkel-, Kraft- und Eichkurve des Lichtstrahloscillographen

2.3 Hauptversuche

Jede Vp wurde über den Verlauf des Versuches aufgeklärt und mit den Versuchsbedingungen vertraut gemacht. Das Gerät wurde auf die individuellen Maße der Vp eingestellt.

1. Versuch : Messung der isometrischen Maximallast des m. triceps.

In der oben beschriebenen Versuchsanordnung wurden von der Vp 9mal je 2 isometrische Maximalkontraktionen des m. triceps von 2 Sekunden Dauer mit wenigen Sekunden Abstand durchgeführt. Zwischen jeder Doppelkontraktion wurde eine Pause von 5 Minuten eingeschaltet. Der Beugewinkel des Hebelarmes (H) des Gerätes wurde, beginnend mit einem Armbeugewinkel von 15° jeweils um 15° weitergestellt, so daß nach der neunten Doppelkontraktion ein Armbeugewinkel von 135° erreicht war.

Nach diesem Durchgang erfolgte eine Pause von 30 Minuten. Danach folgten im zweiten Teil der Versuchsreihe wieder 9 isometrische maximale Doppelkontraktionen des m. triceps mit jeweils 5 Minuten Pause zwischen 2 Doppelkontraktionen, diesmal in umgekehrter Reihenfolge, also von 135° bis 15° Armbeugestellung mit jeweils 15° Differenz.

Bei einer Winkelstellung des Hebelarmes (H) von 90° wurde eine Eichkontrolle mit Eichgewichten von 100 und 150 N durchgeführt (Abb. 4).

Abbildung 4
Winkel-, Kraft- und Eichkurve des Lichtstrahloscillographen

2. Versuch : Messung der exzentrischen Maximallast des m. triceps brachii

Der zweite Versuch wurde 7 Tage später durchgeführt. Der Trainingseffekt einer Maximalkontraktion auf die Muskelkraft ist nach ROHMERT (1968) erst nach etwa 14 Tagen wieder vollkommen abgeklungen. Ich wählte jedoch den zeitlichen Abstand von nur 7 Tagen, um einerseits den Trainingseffekt durch den ersten Versuch möglichst weit abklingen zu lassen, andererseits aber die durch das Sportstudium bedingte Kraftzunahme des m. triceps brachii nicht zu groß werden zu lassen.

Im zweiten Versuch wurde die exzentrische Maximallast des m. triceps brachii unter sonst gleichen Bedingungen wie beim ersten Versuch gemessen. In 2 Versuchsdurchgängen wurde also mit 9 maximalen Kontraktionen die exzentrische Maximallast im Bereich der Armbeugestellung von 15° bis 135° bei senkrechter Stellung des Oberarmes gemessen. Hierbei wurde jeweils anstelle einer Doppelkontraktion nur eine Kontraktion durchgeführt da die Vp bis zur Überwindung ihrer Streckkraft durch die Untersucherin bis zu 5 Sekunden maximal kontrahieren mußte und somit sonst zu stark ermüdet wäre.

An der Rolle (I) (Abb. 1, 2a und 2b) wurde der jeweilige Winkel des Lasthebelarmes (H) eingestellt. Durch den langen Gegenhebel (GH) konnte die Untersucherin die Maximalkraft des m. triceps brachii der Vp leicht überwinden, so daß eine Armbeugebewegung der Vp resultierte. Die Winkelstellung des Ellenbogengelenkes wurde durch ein Goniometer (W) gemessen. Die vom DMS-Dynamometer (D) gemessene Last und der Winkel wurden synchron aufgezeichnet. So konnte die exzentrische Maximallast im Augenblick des Nachgebens bestimmt werden (Abb. 4).

Abbildung 4

Winkel-, Kraft- und Eichkurve des Lichtstrahloscillographen

Beugewinkel in Grad		30	45	60	75	90	105	120
VP 1	L in N	103	112	133	130	130	115	115
2		88	121	124	118	97	85	70
3		105	108	111	117	108	100	94
4		110	126	174	190	177	150	142
5		112	132	135	138	141	121	111
6		148	178	184	175	168	146	135
7		128	146	161	173	137	132	127
8		88	109	109	115	112	106	100
9		88	121	124	150	138	126	115
10		97	107	110	129	115	115	115
11		119	125	131	134	119	112	106
12		165	197	222	236	204	187	165
13		106	112	138	147	156	141	124
14		92	114	127	140	133	124	121
15		87	100	120	117	108	95	92
16		134	151	154	155	152	145	147
17		111	128	140	157	153	146	130
18		123	123	145	155	145	142	136
19		122	131	156	166	169	147	147
20		144	156	161	200	190	177	163
21		93	116	119	116	132	120	113
22		113	126	137	168	155	122	119
23		90	116	138	152	155	122	135
24		114	114	139	140	147	118	102
25		109	116	140	154	153	151	135
26		125	147	156	166	169	162	150
27		115	121	141	157	163	153	151
28		103	123	140	147	147	143	140
29		87	93	130	103	103	100	87
30		90	123	160	157	166	127	113
31		110	133	145	163	157	153	150
	x in N	110	126	141	150	145	132	124
	s in N	20	20	24	28	26	24	23
	v in %	17,8	15,9	17,0	19,1	16,6	17,4	17,1

Tab.: 3 Isometrische Maximallastwerte der einzelnen Vpn

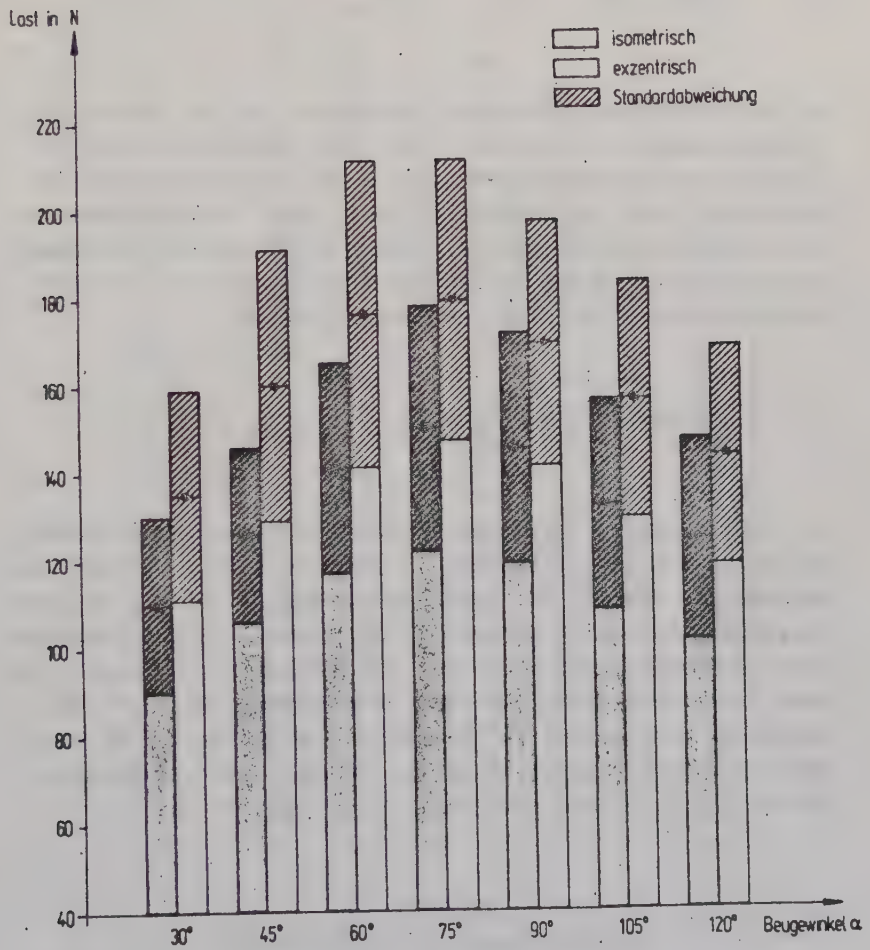


Abb. : 5 Isometrische und exzentrische Maximallastwerte
(Mittelwerte und Standardabweichungen)

2.4 Ergebnisse

Es zeigte sich im Verlauf der Versuche, daß die Vpn in den Armbeugewinkeln von 15° und 135° sehr schlecht zu kontrollieren waren. Häufig verschob sich die quere Ellenbogengelenkachse unter Anspannung des m. triceps. Entsprechend ungenau wurden die Meßwerte in diesen beiden Winkelstellungen. Die Untersucherin hat daher ihre Auswertungen auf den Armbeugebereich von 30° bis 120° eingeschränkt.

2.4.1 Isometrische Maximallast

Die isometrischen, maximalen Lastwerte (Mittelwerte) nehmen beginnend bei einem Beugewinkel von 30°, stetig bis zu einem Beugewinkel von 75° zu. Anschließend nehmen sie bis zu einem Beugewinkel von 120° wieder ab, erreichen aber den Ausgangswert im Mittel nicht mehr. Bei 30° beträgt der mittlere Lastwert 110 N (s = 20 N; v = 18%). Das Maximum der mittleren Lastwerte beträgt bei 75° Beugestellung 150 N (s = 28 N; v = 18%). Bei 120° Beugestellung ist der Lastwert auf im Mittel 124 N (s = 23 N; v = 17%) abgesunken (Tab. 3, Abb. 5).

Tabelle 3
Isometrische Maximallastwerte

Abbildung 5
Isometrische und exzentrische Maximallastwerte
(Mittelwerte und Standardabweichungen)

Als vergleichbare Bezugsgröße zwischen den unterschiedlich stark ausgeprägten Armstreckern unserer Vpn setzte die Unter-

Beugewinkel in Grad		30	45	60	75	90	105	120
VP 1	L in %	76,0	85,0	100	99,0	98,0	85,0	83,0
2		71,0	97,5	100	95,0	78,0	68,5	55,0
3		89,5	92,0	95,0	100	92,0	85,0	80,0
4		57,5	66,0	91,5	100	93,0	79,0	74,5
5		79,0	93,5	95,5	97,5	100	85,5	78,5
6		80,5	96,5	100	95,0	91,0	79,0	73,0
7		74,0	84,0	93,0	100	79,0	76,0	73,5
8		75,5	94,5	94,5	100	97,5	92,0	87,0
9		58,5	80,5	82,5	100	92,0	84,0	76,5
10		75,0	83,0	85,0	100	89,0	89,0	89,0
11		88,5	93,0	97,5	100	88,5	83,5	79,0
12		70,0	79,0	94,0	100	86,5	79,0	70,0
13		68,0	71,5	87,5	94,0	100	90,5	79,5
14		66,5	81,5	90,5	100	95,0	88,5	86,0
15		72,5	83,0	100	97,0	90,0	79,0	76,5
16		86,5	97,0	93,5	100	98,0	93,5	94,5
17		70,5	81,5	89,0	100	97,5	93,0	82,5
18		79,0	79,0	93,5	100	93,5	81,5	87,5
19		72,0	77,5	92,0	98,0	100	87,0	87,0
20		71,5	78,0	80,5	100	95,0	88,5	81,5
21		70,0	87,5	90,0	97,5	100	91,0	85,5
22		67,0	75,0	81,5	100	92,0	72,5	70,5
23		50,0	75,0	93,0	98,0	100	78,5	87,0
24		77,5	77,5	94,5	95,0	100	80,0	69,0
25		70,5	75,0	91,0	100	99,0	98,0	87,5
26		74,0	87,0	92,0	98,0	100	96,5	88,5
27		70,5	74,0	86,5	96,0	100	94,0	92,5
28		70,0	83,5	95,0	100	100	97,0	95,0
29		89,5	96,0	97,0	100	100	97,0	89,5
30		54,0	74,0	96,5	94,5	100	76,5	68,0
31		67,5	81,5	89,0	100	96,0	94,0	92,0
	x in %	72,6	83,2	92,4	98,2	94,9	86,2	81,3
	s in %	8,9	8,4	5,5	2,8	6,0	7,8	9,0
	v in %	12,2	10,1	5,9	2,8	6,3	9,0	11,0

Tab.: 4 Isometrische Maximallastwerte in Prozent des jeweiligen Lastwertmaximums der einzelnen Vpn

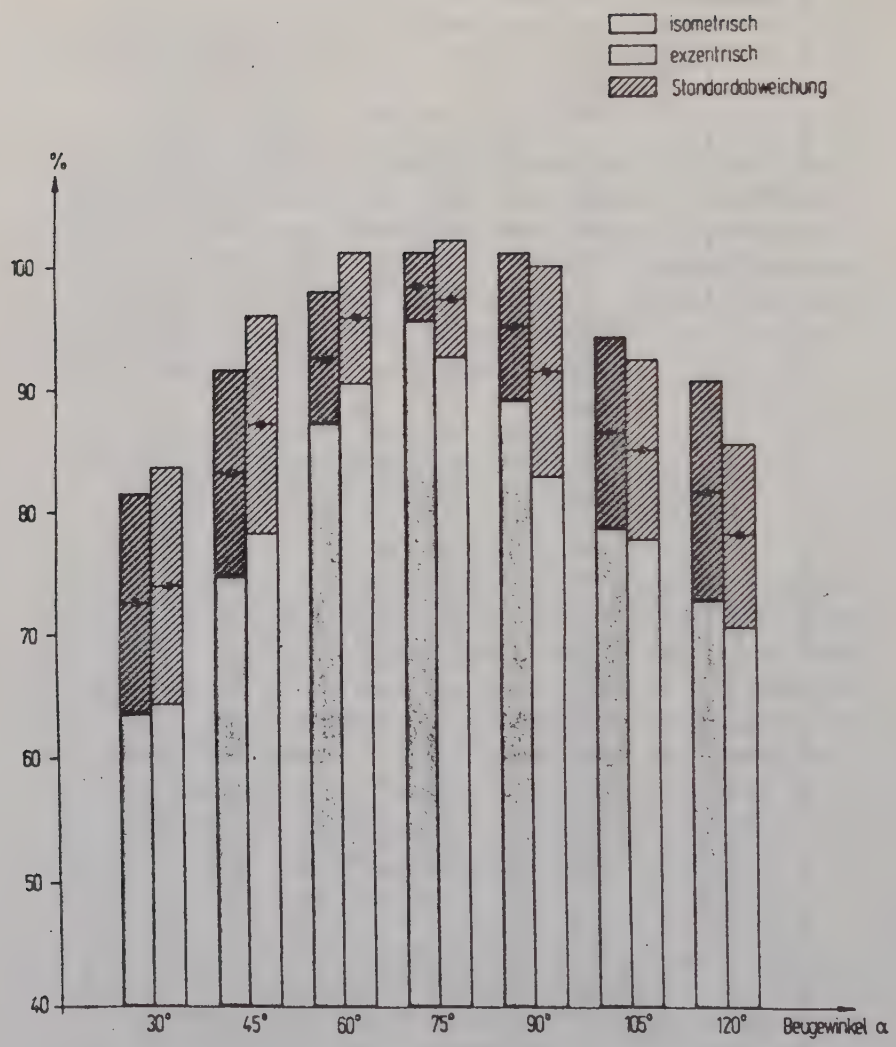


Abb.: 6 Isometrische und exzentrische Maximallastwerte in Prozent des jeweiligen Lastwertmaximums (Mittelwerte und Standardabweichungen)

sucherin das jeweilige Lastwertmaximum jeder Vp gleich 100 %. Die Lastwerte in den übrigen Armbeugewinkeln wurden in die entsprechenden Prozente umgerechnet.

Nach Mittelung der prozentualen Lastwerte ergab sich im Beugewinkel von 30° das Minimum mit 73 % (s = 9 %; v = 12 %). Das Maximum betrug im Beugewinkel von 75° 98 % (s = 3 %; v = 3 %). Im Beugewinkel von 120° waren noch 81 % (s = 9 %; v = 11 %) des Lastwertmaximums zu messen (Tab. 4, Abb. 6).

Tabelle 4
Isometrische Maximallastwerte in Prozent des jeweiligen Lastwertmaximums der einzelnen Vpn

Abbildung 6
Isometrische und exzentrische Maximallastwerte in Prozent des jeweiligen Lastwertmaximums (Mittelwerte und Standardabweichungen)

2.4.2 Exzentrische Maximallast.

Die Lastwerte der exzentrischen, maximalen Muskelkontraktion des m. triceps verhalten sich in ihrem Beugewinkelverlauf von 30° bis 120° ähnlich denen der isometrischen, maximalen Lastwerte. Auch sie steigen beginnend bei 30° bis zu einem Beugewinkel von im Mittel 75° an, um anschließend bis zu einem Winkel von 120° wieder abzufallen, ohne jedoch den Ausgangswert im Mittel zu erreichen. Dabei liegen die Werte jedoch signifikant über den vergleichbaren Werten der isometrischen Messungen. Im Beugewinkel von 30° ergab sich das Lastwertminimum von im Mittel 135 N (s = 24 N; v = 18 %). Der Maximalwert bei 75° betrug im Mittel 179 N (s = 32 N; v = 18 %). Bei dem Beugewinkel von 120° waren die Werte wieder auf im Mittel 143 N (s = 25 N; v = 17 %) abgesunken.

Beugewinkel in Grad		30	45	60	75	90	105	120
VP 1	L in N	131	160	178	174	174	156	138
2		107	116	132	129	118	87	86
3		117	135	146	139	127	115	112
4		178	216	254	264	243	224	205
5		145	142	155	162	135	132	132
6		164	204	190	179	160	150	128
7		131	153	175	181	172	169	147
8		150	160	164	164	148	125	116
9		146	143	160	161	160	147	132
10		144	144	165	179	179	165	144
11		123	163	171	167	163	153	137
12		186	234	240	218	197	175	171
13		138	182	193	189	183	174	153
14		135	148	176	169	155	145	138
15		142	154	154	165	158	150	127
15		172	204	204	208	202	194	184
17		157	196	202	195	188	154	153
18		128	153	134	228	197	164	150
19		139	183	250	254	214	208	179
20		151	178	194	212	197	184	169
21		116	136	145	148	142	132	116
22		105	131	144	167	148	135	112
23		170	206	212	191	185	167	160
24		103	133	153	157	163	133	133
25		100	121	131	148	145	141	138
26		144	185	191	150	161	159	153
27		119	138	161	178	180	171	158
28		123	157	160	180	183	160	154
29		90	113	118	120	108	110	108
30		103	139	168	178	177	165	149
31		140	137	146	189	175	169	147
	x in N	135	160	176	179	169	156	143
	s in N	24	31	35	32	28	27	25
	v in %	17,8	19,3	19,7	18,1	16,8	17,4	17,1

Tab.: 5 Exzentrische Maximallastwerte der einzelnen Vpn

Beugewinkel in Grad		30	45	60	75	90	105	120
VP 1	L in %	73,5	90,0	100	97,5	97,5	87,5	77,5
2		81,0	88,0	100	98,0	89,5	75,0	65,0
3		60,0	92,5	100	75,0	87,0	78,5	76,5
4		67,0	81,5	96,0	100	92,0	84,5	76,0
5		89,5	87,5	95,5	100	83,0	81,5	81,5
6		80,0	100	93,0	87,5	78,0	73,5	62,5
7		72,0	84,5	96,5	100	95,0	99,0	81,0
8		91,0	97,5	100	100	90,0	76,0	70,5
9		90,0	88,0	98,5	100	98,5	90,5	81,5
10		80,5	80,5	92,0	100	100	92,0	80,5
11		72,0	85,0	100	97,5	95,0	89,5	80,0
12		77,5	95,5	100	89,0	80,5	71,5	70,0
13		71,5	94,0	100	97,5	94,5	90,0	79,0
14		76,5	84,0	100	96,0	88,0	82,5	78,5
15		86,0	93,0	93,0	100	95,0	91,0	77,0
16		82,5	98,0	98,0	100	97,0	93,0	88,5
17		77,5	97,0	100	97,0	93,0	75,0	75,5
18		54,5	65,0	100	97,5	84,0	70,0	64,0
19		54,5	72,0	98,5	100	84,0	82,0	70,5
20		71,0	84,0	91,5	100	93,0	86,5	79,5
21		78,0	91,5	98,0	100	96,0	89,5	78,0
22		62,5	78,0	86,0	100	98,5	80,5	67,0
23		80,0	97,0	100	90,0	87,0	78,5	75,5
24		63,0	81,5	94,0	96,0	100	81,5	81,5
25		67,5	81,0	88,5	100	98,0	95,0	93,0
26		75,0	97,0	100	78,5	85,5	83,0	80,0
27		66,0	76,5	89,5	99,0	100	95,0	87,5
28		67,0	85,5	87,5	98,5	100	87,0	84,0
29		75,0	94,0	98,0	100	90,0	91,5	90,0
30		58,0	78,0	94,0	100	99,0	92,5	83,5
31		74,5	73,0	78,0	100	95,0	90,0	78,0
	$\bar{x}$ in %	74,0	87,1	95,7	97,2	91,2	84,8	77,8
	s in %	9,6	8,9	5,4	4,8	8,6	7,3	7,4
	v in %	12,9	10,2	5,6	4,9	9,4	8,5	9,4

Tab.: 6 Exzentrische Maximallastwerte in Prozent des jeweiligen Lastwertmaximums der einzelnen Vpn

Tabelle 5
Exzentrische Maximallastwerte der einzelnen Vpn

Abbildung 5
Isometrische und exzentrische Maximallastwerte
(Mittelwerte und Standardabweichungen)

Auch hier wurden, um eine einheitliche Bezugsgröße zu erhalten, alle Werte in Prozent des jeweiligen Maximums der einzelnen Vp ausgedrückt. Dabei ergab sich im Beugewinkel von 30° ein mittlerer Lastwert von74 % (s = 10 %; v = 13 %),im Beugewinkel von 75° lag das Maximum mit im Mittel 97 % (s = 5 %; v = 5 %) und im Beugewinkel von 12o° betrug der Lastwert 78 % (s = 7 %; v = 9 %) (Tab. 6, Abb.6).

Tabelle 6
Exzentrische Maximallastwerte in Prozent des jeweiligen Lastwertmaximums der einzelnen Vpn

Abbildung 6
Isometrische und exzentrische Maximallastwerte
in Prozent des jeweiligen Lastertmaximums der einzelnen Vpn
(Mittelwerte und Standardabweichungen)

2.4.3 Vergleich der isometrischen Maximallast mit der exzentrischen Maximallast

Zum Vergleich der isometrischen mit den exzentrischen Lastwerten hat die Untersucherin die jeweiligen Mittelwerte mit der Standardabweichung als Säulen in einem Koordinatensystem

Beugewinkel in Grad		30	45	60	75	90	105	120
VP 1	L_{ex} in %	127	143	134	134	134	136	120
2	von L_{iso}	122	96	106	109	122	114	123
3		111	125	132	119	118	115	119
4		162	171	146	139	137	149	144
5		129	108	115	117	96	109	119
6		111	115	103	102	95	103	95
7		102	105	109	96	126	128	116
8		170	147	150	143	132	118	116
9		166	118	129	107	116	117	115
10		148	135	150	139	156	143	125
11		103	130	131	125	137	137	129
12		113	125	108	92	97	105	104
13		130	163	140	129	117	123	123
14		147	130	139	121	117	117	114
15		163	154	128	141	146	158	138
16		128	135	132	134	133	134	125
17		141	153	144	125	123	105	118
18		104	124	161	147	136	115	110
19		114	140	160	153	127	141	122
20		105	114	120	106	104	104	104
21		128	117	122	128	108	110	103
22		93	104	105	99	95	111	94
23		189	178	154	126	119	137	119
24		90	117	110	112	111	113	130
25		92	104	94	96	95	93	102
26		115	126	122	90	97	98	102
27		103	114	114	113	110	112	105
28		119	128	114	122	124	112	110
29		103	122	118	117	115	110	124
30		114	113	105	113	107	130	132
31		127	103	101	115	111	110	98
	x in %	125	128	126	120	118	120	116
	s in %	25	21	19	17	16	16	12
	v in %	20,0	16,4	15,0	14,2	13,6	13,3	10,4

Tab.: 7 Exzentrische Maximallastwerte in Prozent der isometrischen Maximallastwerte der einzelnen Vpn

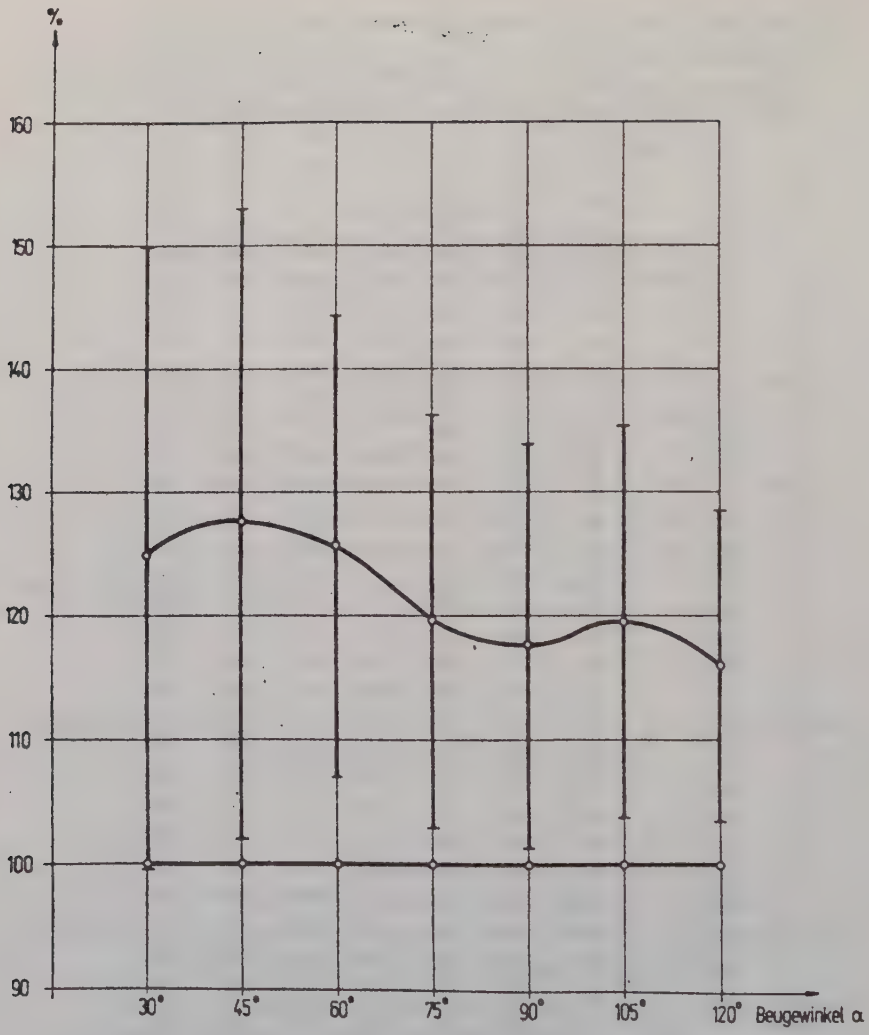


Abb.: 7 Exzentrische Lastwerte in Prozent der isometrischen Lastwerte (Mittelwerte und StandardabWeichungen)

dargestellt (Abb. 5).

Abbildung 5
Isometrische und exzentrische Maximallastwerte
(Mittelwerte und Standarabweichungen)

Dabei zeigt sich ein sehr ähnliches Verhalten der entsprechenden Säulen. Jedoch liegen die exzentrischen Werte über den isometrischen und zwar bei dieser Messung um im Mittel 22 % (16 % bis 25 %). Dabei ist die Differenz vom Beugewinkel abhängig. Um dies zu verdeutlichen, hat die Untersucherin die exzentrischen Werte jeweils in Prozent der isometrischen Werte ausgedrückt. Bei 30° beträgt der exzentrische Wert im Mittel 125 % des isometrischen Lastwertes (s = 25 %; v = 20 %). Bei 45° beträgt der exzentrische Lastwert 128 % des isometrischen Wertes (s = 21 %; v = 16 %). Bei 90° beträgt der exzentrische Wert nur noch 117 % des isometrischen (s = 16 %; v = 14 %), steigt bei 105° an auf 120 % (s = 16 %; v = 14 %) und sinkt dann bis 120° auf 116 % (s = 12 %; v = 11%) ab (Tab. 7, Abb. 7).

Tabelle 7
Exzentrische Maximallastwerte in Prozent
der isometrischen Maximallastwerte

Abbildung 7
Exzentrische Maximallastwerte in Prozent
der isometrischen Maximallastwerte
(Mittelwerte und Standardabweichungen)

3. BERECHNUNG DER ISOMETRISCHEN UND EXZENTRISCHEN MAXIMALKRAFT DES M. TRICEPS BRACHII

3.1 Drehmomente

Nach der Messung der Lastwerte des m. triceps brachii soll nun die maximale isometrische und exzentrische Kraft des m. triceps brachii bei senkrechtem Oberarm im Armbeugebereich von 30° bis 120° berechnet werden.

Da der Arm ein Winkelhebelsystem darstellt, gilt die Drehmomentengleichung, nach der die Summe aller Drehmomente gleich Null ist. In meinem Falle kommen 3 Drehmomente zur Wirkung :

1. das Drehmoment der Last (M_L)
2. das Drehmoment der Gewichtskraft von Unterarm und Hand (M_S)
3. das Drehmoment der Kraft (M_K)

und es gilt :

$$M_K = M_L - M_S \qquad (3.01)$$

Sie sollen hier nacheinander abgeleitet und berechnet werden, da sich daraus die M A X I M A L K R A F T (isometrisch und exzentrisch) berechnen läßt.

3.1.1 Drehmoment der Last (M_L)

Das Drehmoment der Last (M_L) errechnet sich aus der Last (L) und dem Lastarm (u) :

$$M_L = L \cdot u \qquad (3.02)$$

VP	Lastarm (u) (cm)	Unterarm-länge (cm)	Schwerpunktsradius von Unterarm u. Hand (s) (cm)	Unterarm- und Handgewicht (G_A) (N)
1	33,0	26	17,6	14
2	30,9	26,8	18,6	15
3	34,8	25,0	16,9	14
4	32,0	22,7	15,4	15
5	35,2	26,0	17,6	16
6	33,0	24,8	16,8	15
7	34,5	25,1	17,0	16
8	36,0	28,4	19,2	17
9	36,5	26,0	17,6	16
10	35,0	25,2	17,1	15
11	34,3	25,6	17,3	15
12	35,2	27,4	18,6	18
13	36,5	27,0	19,3	20
14	35,1	25,8	17,5	15
15	32,0	22,5	15,2	14
16	34,2	25,2	17,1	17
17	33,3	23,4	15,8	15
18	34,2	25,0	16,9	15
19	34,7	25,6	17,3	18
20	36,5	27,0	18,3	19
21	35,5	26,5	17,9	14
22	34,0	25,0	16,9	16
23	36,5	28,5	19,3	20
24	33,0	24,5	16,6	13
25	35,0	25,5	17,3	16
26	36,5	27,5	18,6	17
27	34,0	25,5	17,3	16
28	36,5	26,0	17,6	16
29	36,5	27,5	18,6	13
30	36,5	26,0	17,6	17
31	35,5	25,2	17,1	17

Tab. : 8 Lastarm, Unterarmlänge, Schwerpunktsradius von Unterarm und Hand sowie Unterarm- und Handgewicht der einzelnen Vpn

Beugewinkel in Grad		30	45	60	75	90	105	120
VP 1	M_L in N.cm	3390	3695	4389	4290	4290	3795	3795
2		2640	3642	3732	3552	2929	2559	2107
3		3654	3758	3863	4072	3750	3480	3271
4		3520	4032	5568	6080	5664	4800	4544
5		3142	4646	4752	4858	4963	4259	3907
6		4384	5874	6072	5775	5544	4918	4455
7		4416	5237	5555	5969	4727	4554	4382
8		3168	3924	3924	4140	4032	3816	3600
9		3212	4417	4526	5475	5037	4509	4198
10		3395	3745	3850	4515	4025	4025	4025
11		4022	4288	4493	4595	4082	3842	3636
12		5080	6582	7814	8307	7181	6582	5808
13		3869	4088	5037	5366	5694	5147	4526
14		3229	4001	4458	4914	4668	4352	4247
15		2784	3200	3840	3744	3456	3040	2944
16		4583	5164	5267	5301	5189	4959	5027
17		3696	4262	4662	5228	5095	4862	4329
18		4207	4207	4959	5301	4959	4856	4651
19		4233	4546	5413	5760	5864	5101	5101
20		5256	5694	5877	7300	6935	6461	5950
21		3302	4118	4225	4118	4686	4260	4012
22		3842	4284	4658	5712	5270	4148	4046
23		3285	4234	5037	5548	5658	4453	4928
24		3762	3762	4587	4620	4851	3894	3366
25		3815	4060	4900	5390	5335	5285	4725
26		4563	5366	5694	6059	6169	5913	5475
27		3910	4114	4798	5338	5542	5202	5134
28		3760	4490	5110	5366	5366	5220	5110
29		3176	3395	3650	3760	3760	3650	3176
30		3285	4490	5840	5731	6059	4636	4125
31		3905	4722	5140	5787	5574	5432	5325
	$\bar{x}$ in N.cm	3826	4382	4893	5225	5045	4581	4385
	s in N.cm	693	742	864	1011	960	892	847
	v in %	18,1	16,9	17,7	19,4	19,0	19,5	19,3

Tab. : 9 Drehmomente der isometrischen Last der einzelnen Vpn

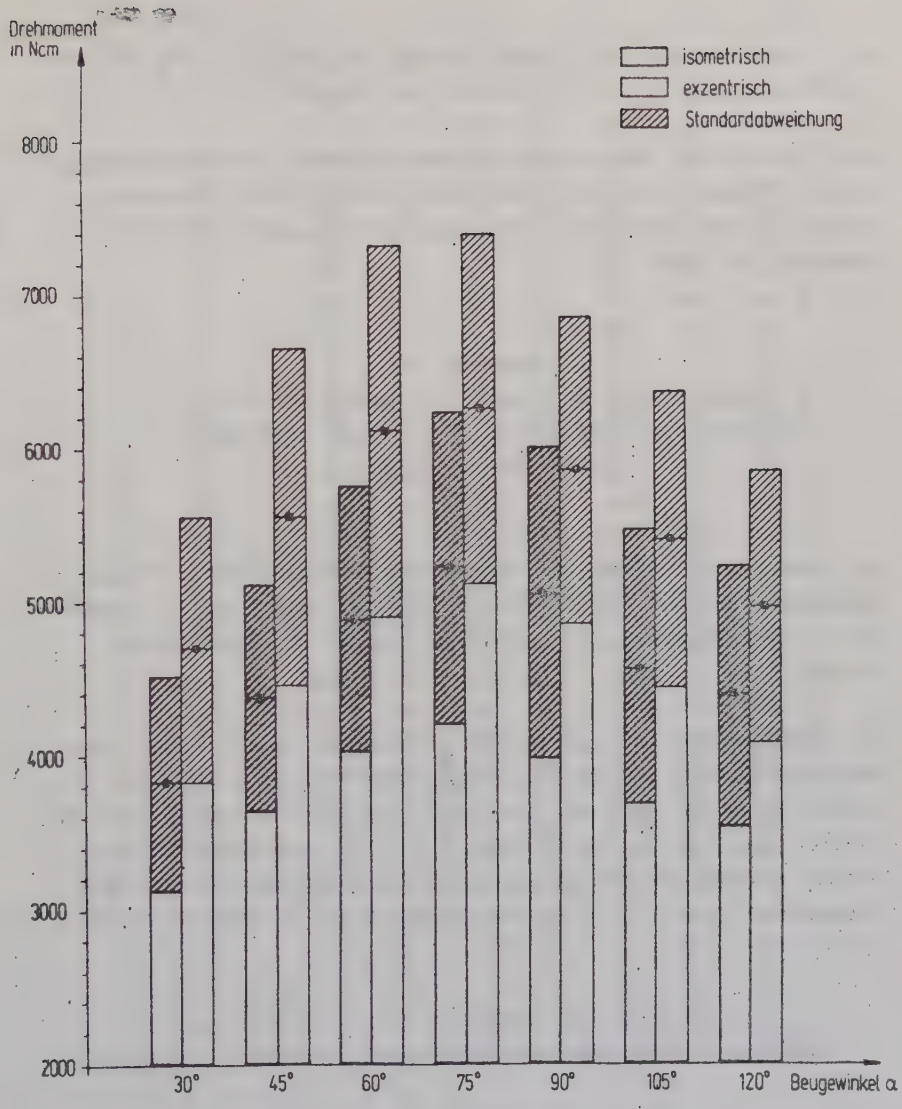


Abb.: 8 Drehmomente der isometrischen und exzentrischen Last (Mittelwerte und Standardabweichungen)

Die isometrischen und exzentrischen Lastwerte wurden in den Kapiteln 2.4.1 und 2.4.2 bereits besprochen.

Der Lastarm (u) stellt die Distanz zwischen dem Ellenbogengelenkmittelpunkt, der sich auf den epicond. lat. hum. projiziert, und den Mittelhandköpfchen dar. Er wurde bei jeder Vp ausgemessen (Tab. 8).

Tabelle 8
Lastarm (u); Unterarm- und Handgewicht (G_A)
und Schwerpunktsradius von Unterarm und Hand (s)
der einzelnen Vpn

Der Lastarm (u) blieb für jede einzelen Vp in jeder Beugestellung konstant, da durch die Rollenübertragung (s. Kapitel 2.1.2 Meßapparatur) der Angriff der Last stets senkrecht blieb.

Das Drehmoment der isometrisch gemessenen Last lag bei einem Beugewinkel von 30° im Mittel bei 3826 Ncm (s = 693 Ncm; v = 18 %). Es stieg dann bis zu einem Beugewinkel von 75° auf im Mittel 5225 Ncm (s = 1011 Ncm; v = 19 %), um anschließend wieder abzusinken bis zu durchschnittlich 4385 Ncm bei dem Beugewinkel von 120° (s = 847 Ncm; v = 19 %) (Abb. 8, Tab. 9).

Tabelle 9
Drehmomente der isometrischen Last der einzelnen Vpn

Abbildung 8
Drehmomente der isometrischen und exzentrischen Last
(Mittelwerte und Standardabweichungen)

Entsprechend den Ergebnissen der Lastwertmessung liegt das

Zeugewinkel in Grad		30	45	60	75	90	105	120
VP 1	M_{La} in N.cm	4323	5280	5874	5742	5742	5148	4554
2		3221	3402	3773	3883	3552	2920	2589
3		4072	4768	5081	4837	4421	4002	3898
4		5616	6012	6128	8448	7776	7168	6560
5		5104	4999	5456	7502	4752	4646	4646
6		5412	6732	6270	5907	5280	4950	4224
7		4520	5279	6038	6245	5934	5831	5072
8		5400	6760	5904	5904	5328	4500	4176
9		5329	5220	5840	5877	5840	5366	4818
10		5040	5040	5775	6265	6265	5775	5040
11		4213	5501	5805	5728	5591	5248	4609
12		5547	6237	6448	7674	6934	6160	6019
13		5037	6643	7045	6809	6680	6351	5585
14		4730	5195	6178	5732	5441	5090	4844
15		4544	4928	4928	5280	5056	4800	4064
16		5982	6977	6977	7114	6908	6635	6293
17		5228	6527	6727	6527	6260	5128	5995
18		4378	5233	6003	7798	6737	5609	5130
19		4823	6250	8675	9814	7426	7216	6211
20		5512	6497	7081	7738	7191	6716	6169
21		4118	4928	5148	5254	5041	4686	4118
22		3570	4454	4896	5678	5032	4590	3808
23		6205	7519	7736	6972	6753	6096	5940
24		3300	4389	5049	5181	5379	4389	4389
25		3500	4235	4585	5190	5075	4935	4830
26		5256	6753	6972	5475	5986	5894	5585
27		4946	4692	5474	6052	6120	5914	5372
28		4400	5731	5940	6570	6060	5940	5621
29		3285	4125	4307	4380	3942	4015	3942
30		3760	5074	5132	6407	5461	6023	5439
31		4070	4864	5210	6674	6213	6000	5219
	$\bar{x}$ in N.cm	4636	5550	6117	6259	5864	5402	4960
	s in N.cm	864	1038	1214	1140	1001	965	885
	v in %	18,4	17,7	19,9	18,2	17,1	17,9	17,8

Tab.: 10 Drehmomente der exzentrischen Last der einzelnen Vpn

Drehmoment der exzentrischen Last über dem isometrischen Drehmoment der Last. Der niedrigste Wert ergab sich im Beugewinkel von 30° mit im Mittel 4698 Ncm (s = 864 Ncm; v = 18 %). Das Maximum lag im Beugewinkel von 75° mit 6259 Ncm (s = 1140 Ncm; v = 18 %). Anschließend nimmt das Drehmoment wieder ab und erreicht im Beugewinkel von 120° 4963 Ncm (s = 885 Ncm; v = 18 %) (Tab. 10, Abb. 8).

Tabelle 10
Drehmomente der exzentrischen Last der einzelnen Vpn

Abbildung 8
Drehmomente der isometrischen und exzentrischen Last (Mittelwerte und Standarabweichungen)

3.1.2 Drehmoment der Gewichtskraft von Unterarm und Hand (M_S)

Das Drehmoment der Gewichtskraft von Unterarm und Hand (M_S) läßt sich aus dem Gewicht von Unterarm und Hand (G_A) und seinem Hebelarm berechnen :

$$M_S = G_A \cdot S \qquad (3.03)$$

Dabei läßt sich der Hebelarm (S) aus dem gemeinsamen Schwerpunktsradius (s), der sich mit dem sin. des Beugewinkels (α) ändert, berechnen. Es gilt also :

$$S = s \cdot \sin\alpha \qquad (3.04)$$

Das Drehmoment der Gewichtskraft von Unterarm und Hand (M_S)

Beugewinkel in Grad		30	45	60	75	90	105	120
Vp 1	M_G in N.cm	123	174	213	238	246	238	213
2		140	197	242	270	279	270	242
3		118	167	205	229	237	229	205
4		116	163	200	223	231	223	200
5		141	199	244	272	282	272	244
6		126	178	218	243	252	243	218
7		136	192	236	263	272	263	236
8		163	231	283	315	326	315	283
9		141	199	244	272	282	272	244
10		128	181	222	248	257	248	222
11		130	184	225	251	260	251	225
12		167	237	290	323	334	323	290
13		183	259	317	354	366	354	317
14		131	186	227	254	263	254	227
15		106	151	184	206	213	206	184
16		145	206	252	281	291	281	252
17		119	168	205	229	237	229	205
18		127	179	220	245	254	245	220
19		156	220	270	301	311	301	270
20		174	246	301	336	348	336	301
21		125	177	217	242	251	242	217
22		135	191	234	261	270	251	234
23		193	273	334	373	386	373	334
24		108	153	187	208	216	208	187
25		138	196	240	267	277	267	240
26		158	224	274	305	316	305	274
27		138	196	240	267	277	267	240
28		141	199	244	272	282	272	244
29		121	171	209	234	242	234	209
30		150	212	259	289	299	289	259
31		145	206	252	281	291	281	252
	$\bar{x}$ in Ncm	139	197	242	269	279	269	242
	s in Ncm	21	30	36	40	42	40	36
	v in %	15	15	15	15	15	15	15

Tab.: 11 Drehmomente der Gewichtskraft von Unterarm und Hand der einzelnen Vpn

ergibt sich aus Gleichung (3.04) in Gleichung (3.03):

$$M_S = G_A \cdot s \sin\alpha \qquad (3.05)$$

Das gemeinsame Gewicht von Unterarm und Hand beträgt nach DEMPSTER (1955) 2,2 % des Körpergewichtes. Jede Vp wurde gewogen, und aus dem Körpergewicht wurde das Unterarmhandgewicht berechnet (Tab. 8)

Der gemeinsame Schwerpunktsradius (s) von Unterarm und Hand wurde von DEMPSTER (1955) mit 67,7 % der Unterarmlänge,wenn man vom epicond. lat. hum. aus mißt angegeben. Mißt man vom proc. styloideus ulnae aus, so beträgt s= 32,3 % der Unterarmlänge.

Als Unterarmlänge wurde bei jeder Vp nach HANAVAN (1964) die Strecke zwischen Ellenbogengelenkspalt proximal des capitulum radii bis zum proc. styloideus radii bei proniertem Unterarm ausgemessen und daraus der Schwerpunktsradius (s) berechnet (Tab. 8).

Für das Drehmoment der Gewichtskraft von Unterarm und Hand ergaben sich Werte zwischen 1o6 Ncm und 386 Ncm (Tab. 11).

Tabelle 11
Drehmoment der Gewichtskraft von Unterarm und Hand

3.1.3 Drehmoment der Kraft des m. triceps brachii (M_K)

Das Drehmoment der Kraft (M_K) des m. triceps brachii errechnet sich aus der Muskelkraft (K_M) und dem Kraftarm (r) :

$$M_K = K_M \cdot r \qquad (3.06)$$

Die Muskelkraft (K_M) ist die Kraft des m. triceps brachii, die

in Tricepssehnenrichtung wirkt. Sie läßt sich aufspalten in ihre Komponenten K_G, die in Richtung der Verbindungslinie zwischen Ellenbogengelenkmittelpunkt (M) und gemitteltem Tricepssehnenansatzpunkt (A) verläuft und K_D, die senkrecht auf K_G steht (Abb. 9).

Der Kraftarm (r) ist der senkrechte Abstand des Gelenkmittelpunktes (M) von dem gemittelten Tricepssehnenverlauf.

3.1.3.1 Kraftarm des m. triceps brachii (r)

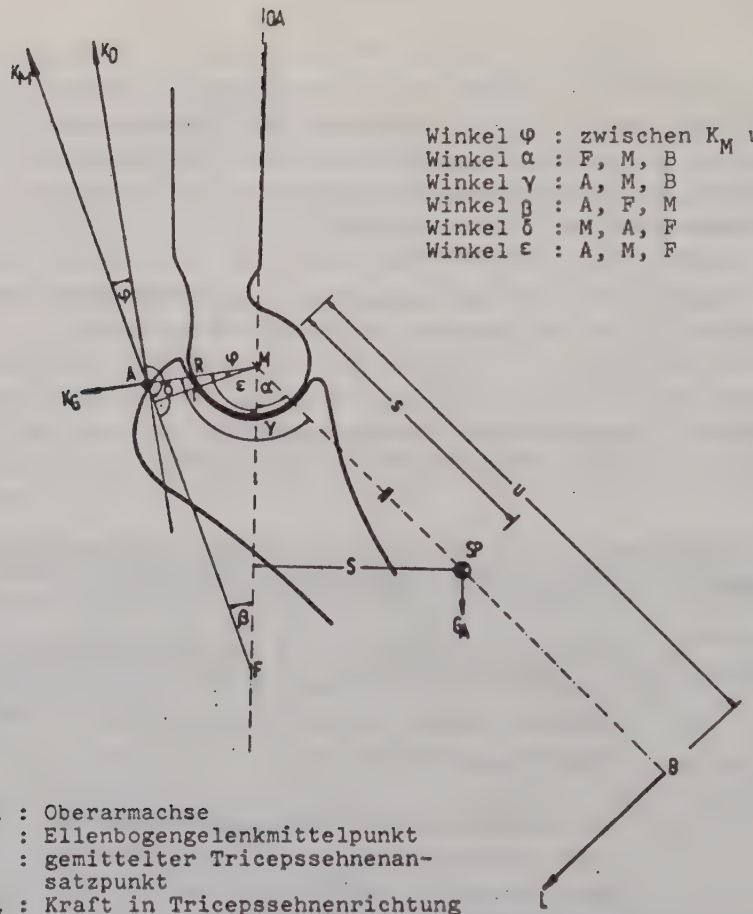
Bei der Berechnung des Kraftarmes (r) des m. triceps brachii müssen 2 Armbeugebereiche unterschieden werden :

a) Der Armbeugebereich, in dem die Tricepssehne frei verläuft, also die trochlea hum. nicht als Hypomochleon benutzt. Dabei ändert sich der Kraftarm (r) stetig (Abb. 9).

b) Der Armbeugebereich, in dem die Sehne über die trochlea hum. läuft, welche als Hypomochleon dient. Dabei bleibt der Kraftarm (r) des m. triceps brachii konstant (Abb. 13).

3.1.3.1.1 Kraftarm (r) des m. triceps brachii bei freiem Tricepssehnenverlauf

Um den Kraftarm (r) des m. triceps brachii bei freiem Tricepssehnenverlauf zu bestimmen, habe ich einen Modellfall mit Stellung des Armes im unteren Armbeugebereich konstruiert (Abb. 9).



Winkel φ : zwischen K_M und K_D
Winkel α : F, M, B
Winkel γ : A, M, B
Winkel β : A, F, M
Winkel δ : M, A, F
Winkel ε : A, M, F

OA : Oberarmachse
M : Ellenbogengelenkmittelpunkt
A : gemittelter Tricepssehnenansatzpunkt
K_M : Kraft in Tricepssehnenrichtung
K_G : Kraft in Richtung der Verbindungslinie zwischen A und M
K_D : Kraft senkrecht auf K_G
R : Strecke $\overline{AM}$
r : Kraftarm des m. triceps brachii
F : Schnittpunkt der verlängerten Tricepssehne mit der verlängerten Oberarmachse
SP : Schwerpunkt von Unterarm und Hand
s : Schwerpunktsradius von Unterarm und Hand
S : s sin α
G_A : Gewicht von Unterarm und Hand
L : Last
B : Angriffspunkt der Last
u : Lastarm

Abb. : 9 Armmodell I zur Bestimmung des Kraftarmes (r) des m. triceps brachii bei freiem Tricepssehnenverlauf

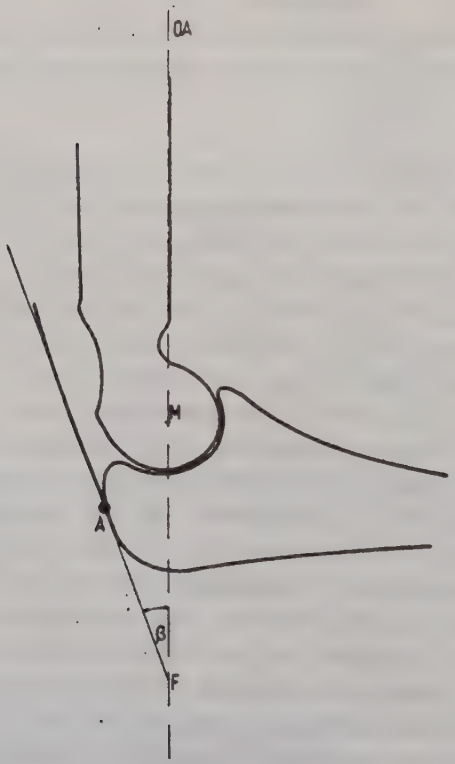
Abbildung 9
Armmodell I zur Bestimmung des Kraftarmes (r)
des m. triceps brachii bei freiem Tricepssehnenverlauf

Dabei soll OA der Oberarm sein, M der Ellenbogengelenkmittelpunkt, A der gemittelte Tricepssehnenansatzpunkt, K_M die Kraft des m. triceps brachii in Sehnenrichtung, K_G die Kraft in Richtung der Verbindungslinie zwischen M und A, K_D die Kraft die senkrecht auf K_G steht, R die Strecke zwischen M und A, r der Kraftarm des m. triceps brachii, also die Senkrechte in M auf die Zugrichtung der Tricepssehne, F der Schnittpunkt der verlängerten Tricepssehne mit der verlängerten Oberarmachse, SP der Schwerpunkt von Unterarm und Hand, φ der Winkel zwischen K_M und K_D bzw. zwischen R und r, α der Armbeugewinkel zwischen Unterarmachse und der Verlängerung der Oberarmachse, γ der Winkel zwischen u und R, β der Winkel zwischen der verlängerten Tricepssehne und der verlängerten Oberarmachse, δ der Winkel zwischen Tricepssehnenverlängerung und R, ε der Winkel zwischen der verlängerten Oberarmachse und R; s soll der Schwerpunktsradius für Unterarm und Hand sein, in dem das Unterarmgewicht G_A angreift, $S = s \cdot \sin\alpha$ B ist der Punkt in dem die Last L angreift, u ist der Lastarm $\overline{MB}$.

Dann ergibt sich für den Kraftarm (r) die Gleichung :

$$r = R \cdot \cos\varphi \qquad (3.07)$$

R, also die Strecke zwischen gemitteltem Tricepssehnenansatzpunkt (A) und dem Gelenkmittelpunkt (M), wurde aus 8 weichen, seitlichen Röntgenaufnahmen von 4 Vpn jeweils in einem Beugewinkel von 90^o und 135^o des Armes gemessen. Es ergaben sich für R die Werte in cm : 2,6; 2,6; 2,52; 2,6 die sich in der zweiten Aufnahme jeder Vp jeweils wiederholten. Im Mittel beträgt R also 2,6 cm. Anhand des mitgeröntgen Metallmaßstabes konnte die Umrechnung auf Normalgröße vorgenommen werden.



OA : Oberarmachse
M : Ellenbogengelenkmittelpunkt
A : gemittelter Tricepssehnenansatzpunkt
F : Schnittpunkt der verlängerten Tricepssehne mit der verlängerten Oberarmachse (OA)
β : Winkel A, F, M

Abb. : 10 Röntgenpause zur Bestimmung des Winkels β

Um für den Winkel φ eine Funktion des Beugewinkels α zu finden, führe ich den Winkel δ ein, und es gilt :

$$\delta = 90^{\circ} - \varphi \qquad (3.08)$$

außerdem gilt :

$$\delta = 180^{\circ} - \varepsilon - \beta \qquad (3.09)$$

Der Winkel β wurde in 8 weichen, seitlichen Röntgenaufnahmen von 4 Vpn jeweils in einem Beugewinkel von 90° und 135° gemessen; in dem man den Verlauf der gemittelten Tricepssehne, die in den weichen Aufnahmen deutlich zu sehen war, verlängerte bis zur Schnittstelle (F) mit der Verlängerung der Oberarmachse (Abb. 10).

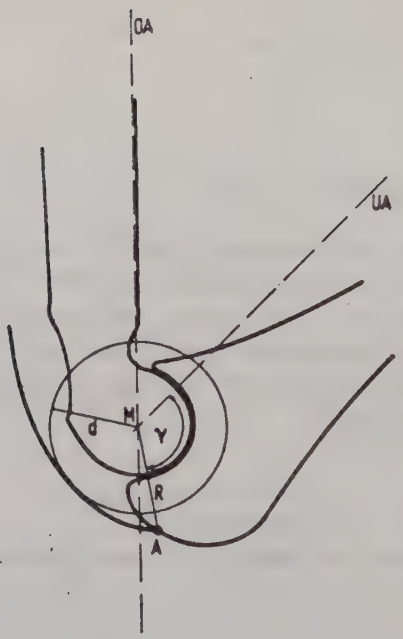
Abbildung 10
Röntgenpause zur Bestimmung des Winkels β

Ich konnte für den Winkel β die Werte von : 20°; $20{,}5^{\circ}$; 19°; und $19{,}5^{\circ}$, also im Mittel 20° (pro Vp 2mal) messen.

Der Winkel ε läßt sich außer in (3.09) noch definieren als :

$$\varepsilon = 360^{\circ} - \alpha - (360^{\circ} - \gamma) = -\alpha + \gamma \qquad (3.10)$$

Zur Bestimmung des Winkels γ wurde außer den oben bereits erwähnten 8 Röntgenaufnahmen der Röntgenfilm von JANKER (1937) dahingehend ausgewertet, daß von 10 verschiedenen Armbeugestellungen eine Röntgenfilmpause angefertigt wurde. Den Winkel γ erhielt man, in dem man eine Parallele zur Unterarmachse durch den Gelenkmittelpunkt (M) legte, und (M) mit dem gemittelten Tricepssehnenansatzpunkt (A) verband. Der eingeschlossene Winkel γ ergab sich im Mittel mit $\gamma = 127^{\circ}$ ($s = 3{,}7^{\circ}$; $v = 2{,}9$ %) (Abb. 11).



OA : Oberarmachse
UA : Unterarmachse
M : Ellenbogengelenkmittelpunkt
A : gemittelter Tricepssehnenansatzpunkt
γ : Winkel zwischen R und UA
R : Strecke $\overline{AM}$
d : kleinstmögliche Entfernung der Tricepssehne vom Mittelpunkt (M)

Abb. : 11 Röntgenpause zur Bestimmung des Winkels γ sowie des Radius d

Abbildung 11
Röntgenpause zur Bestimmung des Winkels γ sowie des Radius d

Setzt man nun Gleichung (3.10) in Gleichung (3.09), so ergibt sich :

$$\delta = 180^{\circ} + \alpha - \gamma - \beta \qquad (3.11)$$

und aus Gleichung (3.11) in Gleichung (3.08) erhält man :

$$90^{\circ} - \varphi = 180^{\circ} + \alpha - \gamma - \beta \qquad (3.12)$$

Setzt man die bekannten Werte für $\gamma = 127^{\circ}$ und $\beta = 20^{\circ}$ ein und löst nach φ auf, so erhält man :

$$\varphi = -180^{\circ} - \alpha + 127^{\circ} + 20^{\circ} + 90^{\circ}$$
$$\varphi = 57^{\circ} - \alpha \qquad (3.13)$$

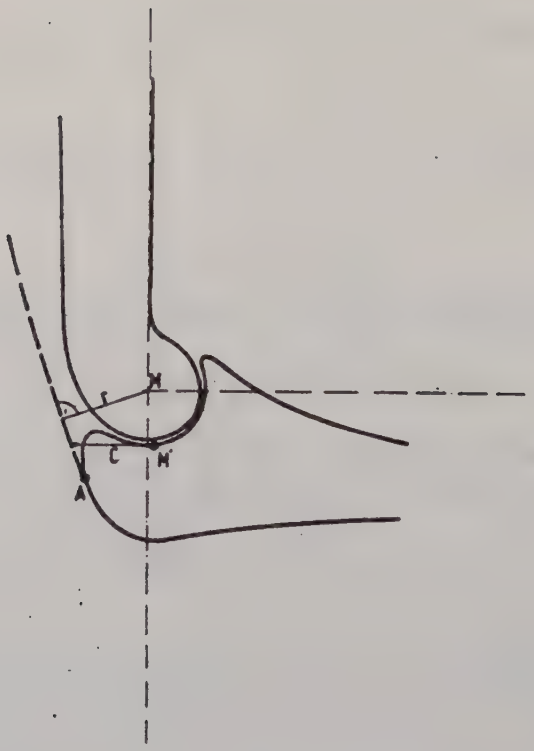
und aus Gleichung (3.13) in Gleichung (3.07) ergibt sich für den Kraftarm (r) bei freiem Tricepssehnenverlauf :

$$r = 2{,}6 \cdot \cos (57^{\circ} - \alpha) \text{ (cm)} \qquad (3.14)$$

3.1.3.1.2 Kraftarm (r) des m. triceps brachii bei geführtem Tricepssehnenverlauf

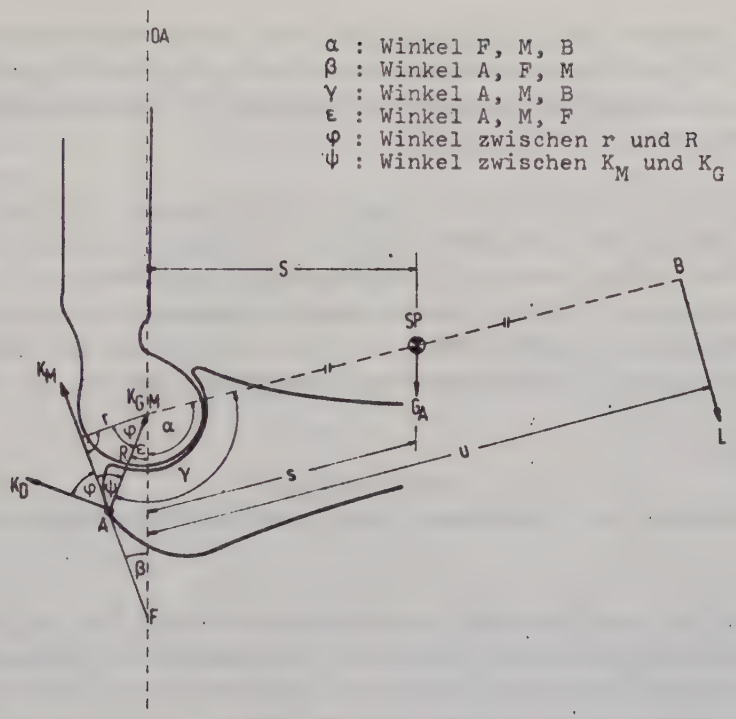
Zunächst soll der Armbeugewinkel α im Grenzbereich, also in dem Armbeugebereich, in dem die Tricepssehne von ihrem freien Verlauf in den geführten Bereich übergeht, berechnet werden.

Aus den bereits erwähnten 8 weichen, seitlichen Röntgenaufnahmen von 4 Vpn, auf denen der Verlauf der Tricepssehne gut



A : gemittelter Ansatzpunkt der Tricepssehne
M´ : Drehmittelpunkt des Ellenbogengelenkes nach MORRIS
M : Gelenkmittelpunkt
C : Kraftarm des m. triceps brachii nach MORRIS
r : Kraftarm des m. triceps brachii

Abb. : 12 Bestimmung des Kraftarmes C des m. triceps brachii nach MORRIS (1948)



OA : Oberarmachse
SP : Schwerpunkt von Unterarm und Hand
s : Schwerpunktsradius von Unterarm und Hand
S : s sin α
u : Lastarm
G_A : Gewicht von Unterarm und Hand
L : Last
B : Angriffspunkt der Last an der Unterarmachse
A : gemittelter Ansatzpunkt der Tricepssehne
M : Ellenbogengelenkmittelpunkt
R : Strecke $\overline{AM}$
r : Kraftarm des m. triceps brachii
F : Schnittpunkt der Verlängerung der Oberarmachse mit der Verlängerung der Tricepssehnenrichtung
K_M : Kraft in Tricepssehnenrichtung
K_G : Kraft in Richtung der Verbindungslinie zwischen M und A
K_D : Kraft senkrecht auf K_G

Abb. : 13 Armmodell II zur Bestimmung des Grenzwinkelbereiches ,in dem die Tricepssehne von ihrem freien in den geführten Verlauf übergeht

Aus (3.19) und (3.20) ergibt sich :

$$\gamma - \alpha + \beta = \text{Hauptwert arc sin } \frac{d}{R} \qquad (3.21)$$

Setzt man in diese Gleichung die gegebenen Werte für $\gamma = 127^\circ$ $\beta = 20^\circ$, $d = 2$ cm und $R = 2{,}6$ cm ein, so ist :

$$\alpha = 127^\circ + 20^\circ - 50$$
$$\alpha = 97^\circ$$

Unter Berücksichtigung der Fehlerbreite durch die gemittelten Werte für β, γ, R und d beträgt der Grenzwinkelbereich :

$$\alpha = 97^\circ \pm 6^\circ$$

Im Armbeugebereich über $97^\circ \pm 6^\circ$, also für die von mir gemessenen Beugewinkel von 105° und 120°, verläuft die Tricepssehne über die Ellenbogengelenkrolle. Dadurch bleibt der Kraftarm (r) immer gleich groß. Er wurde, wie oben bereits beschrieben mit :

$$r = d = 2 \text{ cm} \qquad (3.22)$$

aus Röntgenbildern ermittelt.

Zusammenfassend gilt also :

Der Kraftarm (r) für den Beugebereich von 30° bis 90° :

$$r = R \cdot \cos (57^\circ - \alpha) \qquad (3.14)$$

Der Kraftarm (r) für den Beugebereich von 105° und 120° :

$$r = d \qquad (3.22)$$

So berechnet beträgt der Kraftarm (r) bei 30° Armbeugung r = 2,3 cm und hat sein Maximum bei dem Beugewinkel von 60° mit r = 2,6 cm. Anschließend nimmt er wieder ab und erreicht sei-

Beugewinkel α	30°	45°	60°	75°	90°	105°	120°
Kraftarm [mm]	23	25	26	25	22	20	20

Tab.: 12 Kraftarm des m. triceps brachii in dem Armbeugebereich von 30° bis 120°

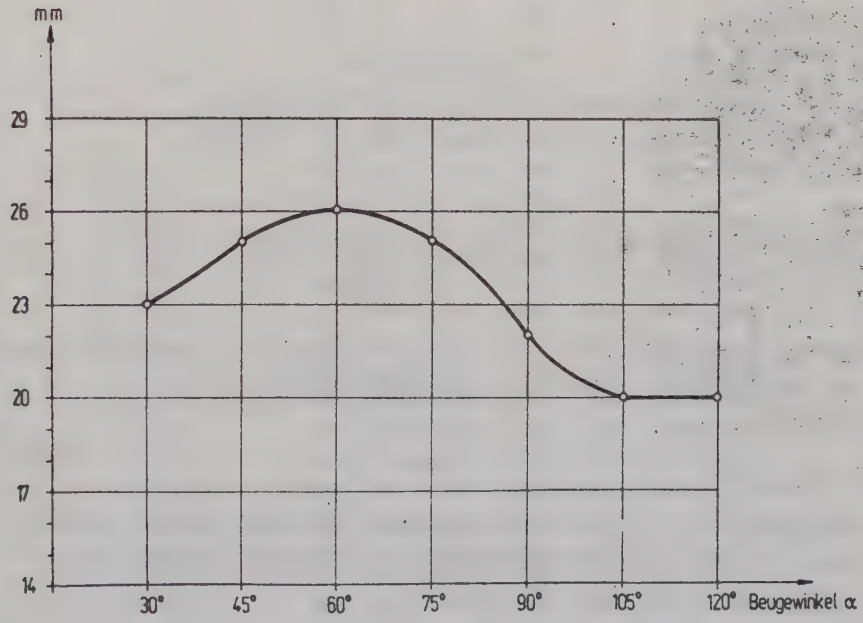


Abb.: 14 Kraftarm des m. triceps brachii in dem Armbeugebereich von 30° bis 120°

nen niedrigsten Wert bei 105° und 120° mit r = 2 cm (Tab. 12, Abb. 14).

Tabelle 12
Kraftarm (r) des m. triceps brachii
in dem Armbeugebereich von 30° bis 120°

Abbildung 14
Kraftarm (r) des m. triceps brachii
in dem Armbeugebereich von 30° bis 120°

3.1.3.2 Maximalkraft (K_M) des m. triceps brachii

Um die Maximalkraft des m. triceps brachii zu berechnen, greife ich auf die Gleichung (3.01) zurück. Sie lautet :

$$M_K = M_L - M_S \qquad (3.01)$$

Setzt man die in den entsprechenden Kapiteln bereits besprochene Drehmomentengleichungen (3.02), (3.05) und (3.06) in Gleichung (3.01) ein, so ist :

$$K_M \cdot r = u \cdot L - G_A \cdot s \cdot \sin\alpha$$

Nach K_M aufgelöst ergibt sich daraus :

$$K_M = \frac{u \cdot L - G_A \cdot s \cdot \sin\alpha}{r} \qquad (3.23)$$

Setzt man für (r) die von dem Armbeugebereich abhängigen Gleichungen (3.14) oder (3.22) ein, so ergibt sich für den Armbeugebereich von :

$$30° \text{ bis } 90° : \quad K_M = \frac{u \cdot L - G_A \cdot s \cdot \sin\alpha}{2{,}6 \cdot \cos(57° - \alpha)} \qquad (3.24)$$

Beugewinkel in Grad		30	45	60	75	90	105	120
VP 1	K_M in N	1329	1275	1477	1485	1674	1583	1620
2		986	1230	1196	1153	1006	929	739
3		1445	1307	1283	1405	1441	1443	1369
4		1990	1418	1944	2224	2322	2110	2012
5		1544	1624	1586	1678	1940	1776	1637
6		1967	2128	2120	2079	2242	2093	1944
7		1754	1784	1903	2137	1843	1935	1885
8		1184	1307	1228	1343	1460	1498	1433
9		1228	1533	1499	1928	1974	1946	1787
10		1322	1287	1260	1565	1540	1690	1724
11		1616	1498	1506	1595	1562	1595	1526
12		2319	4346	2419	3019	2894	2871	2527
13		1465	1343	1623	1798	2175	2114	1851
14		1247	1384	1489	1721	1928	1847	1828
15		1062	1104	1294	1298	1331	1253	1205
16		1815	1921	1776	1848	2037	2114	2186
17		1463	1505	1590	1873	2054	2133	1893
18		1674	1471	1690	1886	1972	2110	2040
19		1653	1562	1815	2013	2318	2159	2200
20		2074	1908	1962	2599	2766	2794	2583
21		1285	1438	1410	1411	1850	1815	1724
22		1507	1489	1560	2035	2094	1784	1719
23		1201	1366	1605	1851	2134	1742	2029
24		1503	1323	1580	1349	1967	1676	1440
25		1492	1396	1647	1899	2126	2295	2051
26		1792	1801	1919	2129	2452	2560	2382
27		1532	1418	1606	1878	2210	2253	2255
28		1425	1562	1724	1684	2125	2256	2238
29		1235	1160	1196	1275	1436	1521	1316
30		1250	1549	1990	2013	2422	1942	1752
31		1523	1547	1701	2045	2209	2351	2335
	$\bar{x}$ in N	1495	1521	1643	1930	1951	1940	1845
	s in N	292	279	316	389	414	421	408
	v in %	19,5	18,4	19,4	21,3	20,9	21,7	22,1

Tab.: 13 Maximale isometrische Muskelkraft der einzelnen Vpn

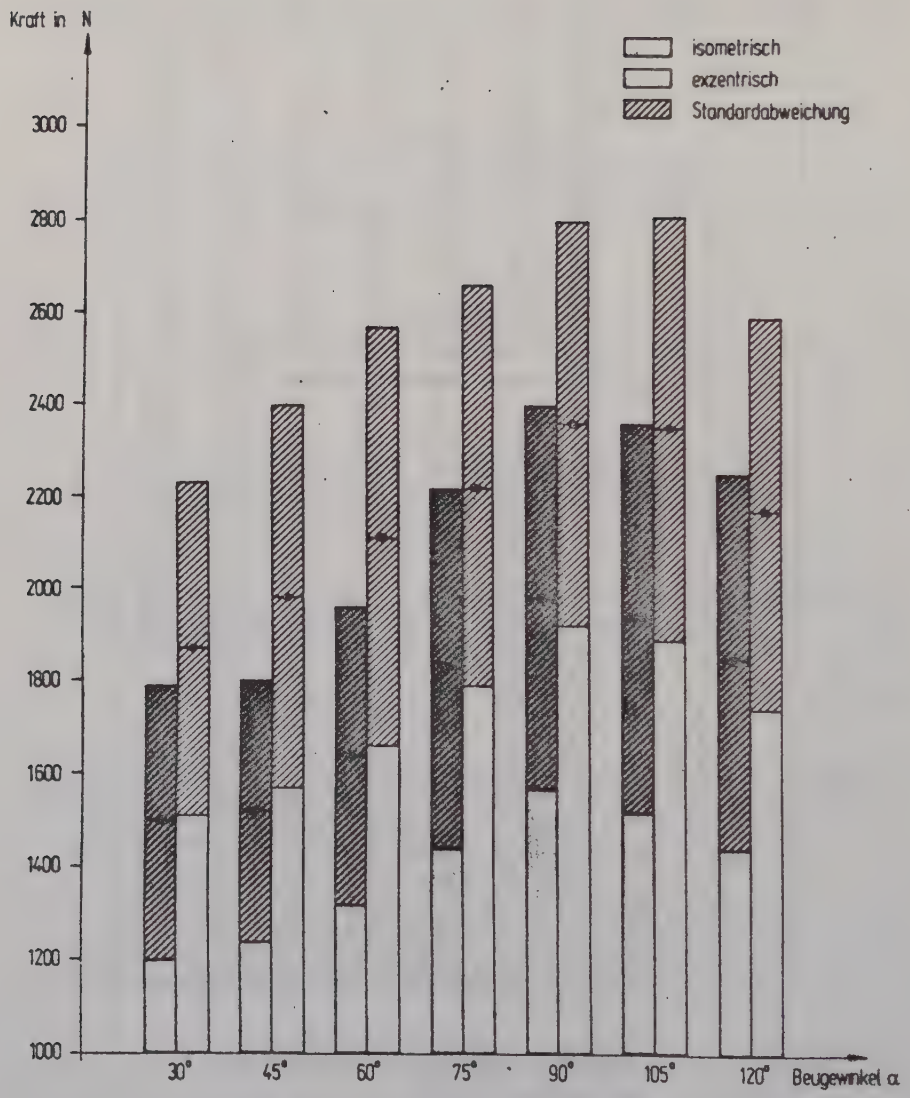


Abb.: 15 Maximale isometrische und exzentrische Muskelkraft ($K_{Mi,e}$) (Mittelwerte und Standardabweichungen)

Beugewinkel in Grad		30	45	60	75	90	105	120
VP 1	K_M in %	79,4	76,2	88,2	88,7	100	94,9	96,8
2		90,2	100	97,2	91,7	81,8	75,4	80,1
3		100	99,5	88,8	97,3	99,8	99,9	94,6
4		55,1	61,1	83,7	95,8	100	99,9	86,6
5		76,6	83,7	81,7	86,5	100	91,5	84,3
6		87,7	94,9	94,6	92,3	100	93,3	86,7
7		82,0	83,5	89,1	100	86,2	90,6	88,2
8		79,1	87,2	82,0	89,6	97,4	100	95,6
9		82,2	77,6	75,9	97,7	100	98,6	90,3
10		76,7	74,7	73,1	90,8	89,3	98,1	100
11		100	92,7	93,2	98,8	96,7	98,8	94,5
12		76,8	77,7	90,1	100	95,8	95,1	83,7
13		67,4	61,7	74,6	82,7	100	97,2	85,1
14		67,5	74,9	80,6	93,2	99,0	100	99,0
15		81,3	83,0	97,2	97,5	100	94,1	90,5
16		93,0	83,3	81,2	84,5	93,2	96,7	100
17		68,6	70,5	74,5	87,8	96,3	100	89,0
18		79,3	69,7	80,1	89,4	93,5	100	96,7
19		71,3	67,4	78,3	86,8	100	93,2	94,9
20		74,2	71,1	70,2	93,0	99,0	100	92,5
21		69,4	77,7	76,2	76,3	100	98,1	93,2
22		71,9	71,1	74,5	97,2	100	82,8	82,1
23		56,3	64,9	75,2	86,8	100	81,6	95,1
24		76,4	67,3	80,3	83,8	100	85,2	73,2
25		65,0	60,8	71,8	82,7	92,6	100	89,4
26		70,0	73,5	75,0	83,2	95,8	100	93,0
27		57,9	62,9	71,2	83,2	98,1	99,9	100
28		64,9	69,2	76,7	83,5	94,2	100	99,2
29		81,2	76,2	78,6	80,3	94,4	100	86,5
30		51,6	64,0	82,2	83,1	100	80,2	71,2
31		64,8	70,9	73,6	87,0	94,9	100	99,3
	$\bar{x}$ in %	74,1	75,5	80,9	89,6	96,7	94,7	90,0
	s in %	10,9	10,4	7,8	6,3	4,5	6,9	9,2
	v in %	14,7	13,7	9,6	7,1	4,7	7,3	10,2

Tab.: 14 Maximale isometrische Muskelkraft in Prozent des jeweiligen Kraftmaximums der einzelnen Vpn

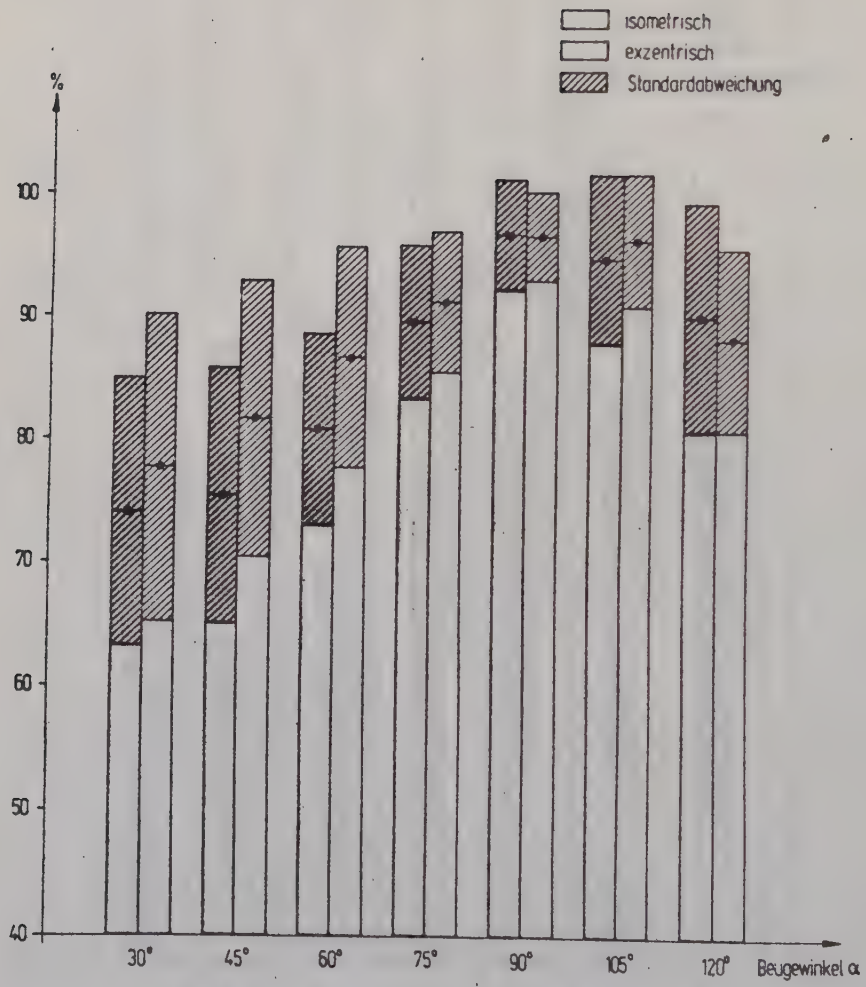


Abb.: 16 Maximale isometrische und exzentrische Muskelkraft in Prozent des jeweiligen Kraftmaximums (Mittelwerte und Standardabweichungen)

105° bis 120° :

$$K_M = \frac{u \cdot L - G_A \cdot s.\sin\alpha}{2} \qquad (3.25)$$

3.1.3.2.1 Maximale isometrische Muskelkraft (K_{Mi}) des m. triceps brachii

Die maximale isometrische Muskelkraft (K_{Mi}) des m. triceps brachii wurde nach den Formeln (3.24) und (3.25) für jede Vp berechnet (Tab. 13). Sie zeigt bei einem Beugewinkel von 30° zunächst einen niedrigsten Wert von im Mittel 1495 N (s=292 N; v=20 %). Sie nimmt dann allmählich zu und erreicht ihr Maximum im Beugewinkel von 90° mit 1981 N (s=414 N; v=21 %). Anschließend sinkt die isometrische Maximalkraft (K_{Mi}) wieder bis zu dem Beugewinkel von 120° auf im Mittel 1845 N (s=408 N; v=22 %) ab (Tab. 13, 14; Abb. 15, 16).

Tabelle 13
Maximale isometrische Muskelkraft (K_{Mi})
der einzelnen Vpn

Abbildung 15
Maximale isometrische und exzentrische Muskelkraft ($K_{Mi,Me}$)
(Mittelwerte und Standardabweichungen)

Tabelle 14
Maximale isometrische Muskelkraft (K_{Mi})
in Prozent des jeweiligen Kraftmaximums der einzelnen Vpn

Abbildung 16
Maximale isometrische und exzentrische Muskelkraft ($K_{Mi,Me}$)
in Prozent des jeweiligen Kraftmaximums
(Mittelwerte und Standardabweichungen)

Beugewinkel in Grad		30	45	60	75	90	105	120
VP 1	K_{ze} in N	1726	1932	2049	2072	2239	2265	2000
2		1234	1171	1288	1287	1296	1110	980
3		1625	1676	1752	1716	1745	1704	1682
4		2329	2551	2939	3182	3291	3294	3020
5		2045	1762	1857	2020	1843	1970	2006
6		2105	2465	2136	2133	2122	2150	1928
7		1708	1879	2089	2241	2397	2574	2239
8		2143	2029	1991	2056	2054	1940	1721
9		2142	1949	2005	2090	2342	2329	2092
10		2332	1796	2002	2273	2567	2565	2231
11		1676	2011	2034	2053	2255	2296	2057
12		2638	2997	2963	2763	2781	2650	2633
13		1969	2348	2395	2418	2527	2715	2380
14		1898	1853	2152	2132	2182	2215	2126
15		1842	1784	1713	1319	2065	2133	1792
16		2376	2533	2435	2581	2622	2952	2819
17		2124	2395	2395	2393	2588	2267	2281
18		1747	1674	2063	2806	2787	2486	2280
19		1907	2272	3071	3248	3034	3218	2755
20		2184	2303	2426	2776	2683	2921	2693
21		1837	1717	1765	1870	2013	2028	1777
22		1389	1556	1651	2022	1965	1956	1600
23		2462	2678	2646	2427	2636	2563	2485
24		1346	1570	1758	1876	2209	1924	1952
25		1356	1465	1526	1814	1927	2120	2103
26		2091	2427	2411	1893	2368	2505	2436
27		1501	1645	1868	2166	2477	2551	2374
28		1760	2050	2005	2371	2727	2566	2433
29		1282	1447	1449	1526	1519	1704	1699
30		1455	1779	2102	2324	2616	2636	2382
31		1082	1702	1758	2404	2502	2635	2282
	$\bar{x}$ in N	1871	1983	2114	2224	2357	2351	2167
	s in N	362	417	452	438	440	462	423
	v in %	19,3	21,0	21,4	19,7	18,7	19,6	19,5

Tab.: 15 Maximale exzentrische Muskelkraft der einzelnen Vpn

Beugewinkel in Grad		30	45	60	75	90	105	120
VP 1	K_{He} in %	73,8	81,1	87,6	88,6	100	93,9	85,5
2		95,2	90,4	99,4	99,3	100	85,6	75,6
3		93,2	95,7	100	98,5	99,5	97,3	96,2
4		70,7	77,4	87,0	96,6	99,9	100	91,7
5		100	86,1	90,8	98,8	90,1	96,3	98,1
6		89,0	100	89,1	86,5	86,0	87,6	74,2
7		69,9	73,0	81,2	87,4	93,1	100	86,6
8		100	95,2	94,0	96,2	96,0	86,2	80,6
9		91,5	79,0	85,6	89,2	100	99,4	89,3
10		79,1	70,0	78,0	88,5	100	99,9	86,9
11		72,9	87,5	88,5	89,3	98,1	100	89,5
12		88,0	100	98,9	92,2	92,8	88,7	87,8
13		72,5	86,4	88,2	89,0	96,7	100	87,6
14		85,7	83,7	97,1	96,3	98,5	100	96,0
15		86,4	83,6	80,3	90,0	96,8	100	84,0
16		80,5	85,8	82,5	87,4	95,6	100	95,5
17		82,1	92,5	92,2	92,7	100	87,6	88,1
18		60,3	64,7	98,8	100	96,3	85,9	78,7
19		58,7	60,9	94,6	100	93,4	99,1	84,8
20		74,7	78,8	83,0	95,0	98,6	100	70,1
21		80,7	84,7	87,0	92,2	99,2	100	87,6
22		68,7	77,0	81,7	100	98,2	96,7	79,1
23		91,9	100	98,8	90,6	98,5	95,7	92,8
24		60,9	71,1	79,5	84,9	100	87,1	88,3
25		63,9	69,1	72,0	85,6	94,2	100	99,2
26		83,5	96,9	96,3	75,6	94,5	100	97,3
27		62,2	64,3	73,0	84,6	86,8	100	92,8
28		65,3	75,2	73,5	86,9	100	94,1	91,4
29		75,3	84,9	85,1	89,5	89,2	100	99,7
30		55,2	67,5	79,8	88,2	98,9	100	90,4
31		75,2	64,6	66,7	91,2	95,0	100	86,6
	$\bar{x}$ in %	77,7	81,8	86,8	91,3	96,6	96,3	88,1
	s in %	12,5	11,2	9,0	5,7	3,6	5,4	7,4
	v in %	16,0	13,6	10,4	6,2	3,7	5,6	8,4

Tab. : 16 Maximale exzentrische Muskelkraft in Prozent des jeweiligen Kraftmaximums der einzelnen Vpn

3.1.3.2.2 Maximale exzentrische Muskelkraft (K_{Me}) des m. triceps brachii

Die maximale exzentrische Muskelkraft (K_{Me}) wurde nach den Formeln (3.24) und (3.25) für jede Vp berechnet (Tab. 15). Das Minimum liegt in dem Beugewinkel von 30° mit im Mittel 1871 N (s = 362 N; v = 19 %). Dann nimmt sie allmählich zu und erreicht ihr Maximum im Armbeugewinkel von 90° mit im Mittel 2357 N (s = 440 N; v = 19 %). Im Beugewinkel von 120° ist die maximale exzentrische Muskelkraft (K_{Me}) wieder abgesunken auf im Mittel 2167 N (s = 423 N; v = 20 %).

Dabei liegen die Werte der exzentrischen Muskelkraft (K_{Me}) im Mittel 22 % (17 % bis 30 %) höher als die isometrischen Werte (Tab. 15, 16; Abb. 15, 16).

Tabelle 15
Maximale exzentrische Muskelkraft (K_{Me})
der einzelnen Vpn

Abbildung 15
Maximale isometrische und exzentrische Muskelkraft ($K_{Mi,Me}$)
(Mittelwerte und Standardabweichungen)

Tabelle 16
Maximale exzentrische Muskelkraft (K_{Me})
in Prozent des jeweiligen Kraftmaximums der einzelnen Vpn

Abbildung 16
Maximale isometrische und exzentrische Muskelkraft ($K_{Mi,Me}$)
in Prozent des jeweiligen Kraftmaximums
(Mittelwerte und Standardabweichungen)

Beugewinkel in Grad		30	45	60	75	90	105	120
VP 1	M_K in N.cm	3057	3188	3140	3711	3682	3176	3240
2		2270	3076	3109	2882	2214	1558	1478
3		3322	3267	3335	3516	3171	2886	2738
4		3197	3072	5055	5560	5108	4220	4024
5		3551	4059	4124	4136	4269	3552	3274
6		4524	5319	5512	5199	4932	4186	3888
7		4033	4460	4949	5343	4055	3872	3770
8		2724	3268	3194	3357	3212	2996	2866
9		2826	3833	3897	4620	4343	3892	3564
10		3040	3218	3277	3913	3388	3380	3448
11		3718	3746	3914	3988	3437	3190	3052
12		5334	5866	7070	7548	6366	5742	5054
13		3369	3357	4219	4495	4785	4228	3702
14		2867	3459	3872	4301	4021	3694	3656
15		2493	2761	3365	3245	2928	2506	2410
16		4175	4551	4619	4621	4482	4228	4372
17		3364	3762	4134	4684	4518	4266	3796
18		3840	3677	4394	4716	4338	4220	4080
19		3801	3906	4719	5033	5100	4318	4490
20		4770	4969	5101	6497	6085	5598	5166
21		2954	3595	3665	3527	4070	3630	3448
22		3465	3723	4055	5088	4608	3468	3438
23		2763	3465	4174	4629	4695	3484	4058
24		3457	3308	4107	4123	4328	3352	2880
25		3430	3491	4283	4746	4677	4590	4102
26		4122	4703	4989	5323	5394	5118	4764
27		3525	3544	4177	4694	4865	4506	4510
28		3369	3905	4482	4707	4674	4512	4476
29		2841	2900	3110	3187	3159	3042	2632
30		2675	3873	5174	5034	5328	3884	3450
31		3502	4116	4500	4112	4860	4702	4670
	$\bar{x}$ in N.cm	3438	3817	4271	4574	4358	3880	3691
	s in N.cm	672	697	829	973	912	842	816
	v in %	19,5	18,3	19,4	21,3	20,9	21,7	22,1

Tab. : 17 Drehmoment der isometrischen Kraft der einzelnen Vpn

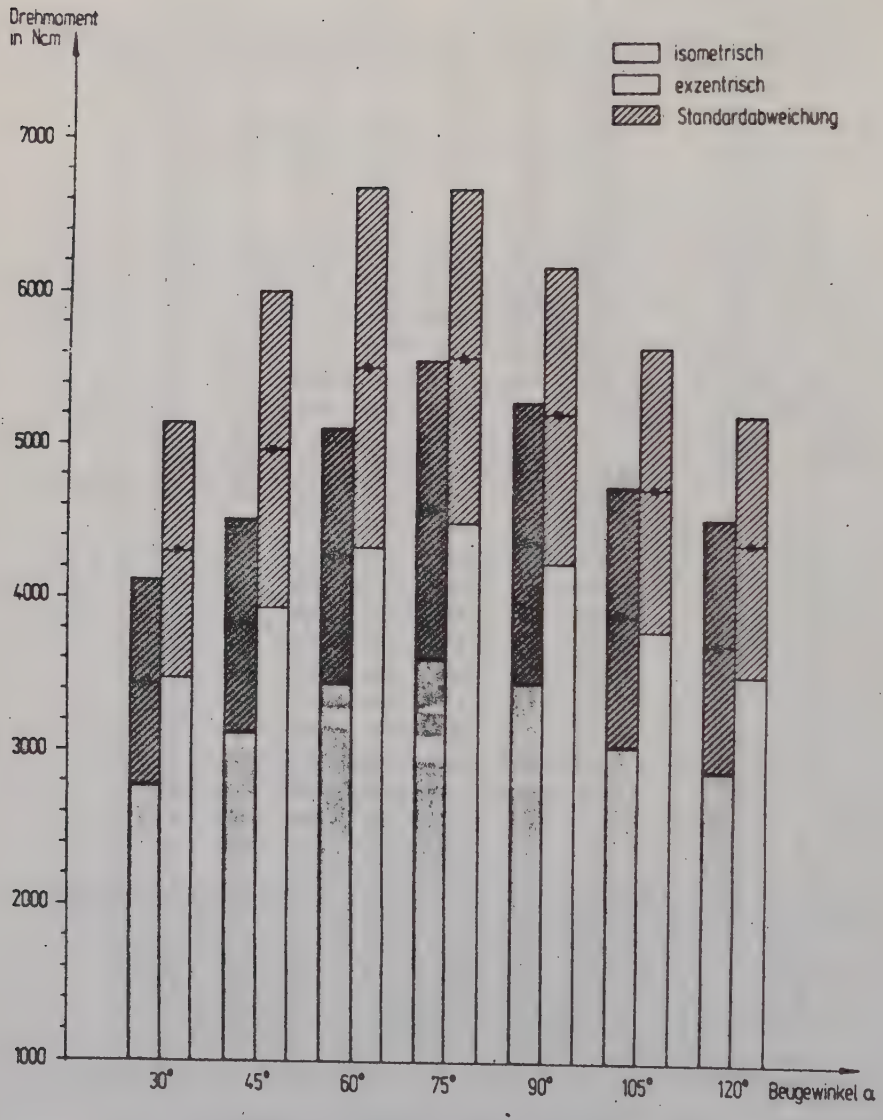


Abb.: 17 Drehmomente der isometrischen und exzentrischen Maximalkraft (M_{Kie}) (Mittelwerte und Standardabweichungen)

3.1.3.3. Drehmoment der isometrischen Kraft (M_{Ki}) des m. triceps brachii

Das isometrische Drehmoment der Kraft (M_{Ki}) wurde nach der Gleichung (3.06)

$$M_{Ki} = K_{Mi} \cdot r \qquad (3.06)$$

mit den bereits aufgeführten Werten für die Kraft (K_{Mi}) und den Kraftarm (r) (Tab. 12 und 13) für jede Vp berechnet.

Im Beugewinkel von 30° beträgt das Drehmoment der isometrischen Kraft (M_{Ki}) im Mittel 3438 Ncm (s= 672 Ncm; v = 20 %). Von diesem niedrigsten Wert steigt das Drehmoment (M_{Ki}) bei zunehmender Armbeugung an und erreicht sein Maximum bei im Mittel 75° mit gemittelt 4574 Ncm (s= 973 Ncm; v = 21 %). Anschließend nimmt das Drehmoment (M_{Ki}) wieder ab und beträgt in einem Beugewinkel von 120° im Mittel 3691 Ncm (s = 816 Ncm; v = 22 %) (Tab. 17, Abb. 17).

Tabelle 17
Drehmoment der isometrischen Kraft (M_{Ki})
der einzelnen Vpn

Abbildung 17
Drehmoment der isometrischen und exzentrischen Maximalkraft ($M_{Ki,Ke}$) (Mittelwerte und Standardabweichungen)

Beugewinkel in Grad		30	45	60	75	90	105	120
VP 1	M_K in N.cm	3974	4745	5327	5179	5147	4530	4000
2		2830	2928	3350	3217	2852	2220	1960
3		3737	4191	4554	4290	3838	3408	3354
4		5357	6377	7618	7954	7239	6588	6040
5		4704	4405	4829	5050	4056	3940	4012
6		5048	6153	5711	5332	4666	4318	3656
7		4136	4699	5433	5622	5273	5148	4460
8		4940	5073	5176	5140	4519	3680	3442
9		4027	4622	5213	5226	5153	4658	4184
10		4673	4491	5205	5683	5648	5130	4462
11		3854	5027	5288	5132	4960	4596	4114
12		6063	7492	7705	6908	6118	5320	5236
13		4528	5869	6229	6045	5779	5432	4760
14		4366	4632	5594	5331	4800	4430	4252
15		4237	4460	4455	4798	4543	4266	3584
16		5465	6333	6331	6454	6207	5904	5638
17		4885	5988	6202	5997	5604	4532	4560
18		4019	4686	7442	7240	6132	4972	4560
19		4387	5680	7085	8120	6675	6436	5520
20		5023	5759	6307	6940	6342	5842	5396
21		3765	4293	4590	4675	4428	4056	3554
22		3195	3890	4293	5057	5367	3910	3200
23		5662	6694	6878	6068	5803	5126	4970
24		3096	3925	4569	4690	4861	3848	3904
25		3118	3663	3957	4534	4394	4240	4206
26		4801	6067	6268	4732	5210	5010	4872
27		3660	4112	4858	5416	5448	5120	4748
28		4094	5125	5213	5927	6000	5132	4986
29		2949	3618	3758	3814	3343	3408	3398
30		3346	4447	5466	5809	5733	5272	4764
31		4359	4431	4570	6009	5505	5270	4564
	$\bar{x}$ in N.cm	4304	4954	5497	5561	5585	4701	4335
	s in N.cm	832	1039	1176	1095	969	923	847
	v in %	19,3	20,9	21,4	19,7	18,7	19,6	19,5

Tab.: 18 Drehmoment der exzentrischen Kraft der einzelnen Vpn

3.1.3.4 Drehmoment der exzentrischen Kraft (M_{Ke}) des m. triceps brachii

Das Drehmoment der exzentrischen Kraft (M_{Ke}) wurde ebenso wie das Drehmoment der isometrischen Kraft (M_{Ki}) nach der Gleichung :

$$M_{Ke} = K_{Me} \cdot r \qquad (3.06)$$

mit den bereits aufgeführten Werten für die Muskelkraft (K_{Me}) und den Kraftarm (r) (Tab. 12 und 15) für jede Vp berechnet.

Das Drehmoment der exzentrischen Kraft (M_{Ke}) liegt im Mittel 22 % (18 % bis 30 %) über dem der isometrischen Kraft (M_{Ki}). Sein Minimum liegt bei 4304 Ncm in dem Beugewinkel von 30° (s = 832 Ncm; v = 19 %). Das Maximum wird nach gleichmäßigem Anstieg wie bei dem Drehmoment der isometrischen Kraft (M_{Ki}) in dem Armbeugewinkel von 75° erreicht und beträgt im Mittel 5561 Ncm (s = 1095 Ncm; v = 20 %). Anschließend nimmt das exzentrische Drehmoment der Kraft (M_{Ke}) wieder ab und erreicht bei 120° Armbeugung 4335 Ncm (s = 847 Ncm; v = 20 %) (Tab. 18, Abb. 17).

Tabelle 18
Drehmomente der exzentrischen Kraft (M_{Ke})
der einzelnen Vpn

Abbildung 17
Drehmomente der isometrischen und exzentrischen Maximalkraft ($M_{Ki,Ke}$) (Mittelwerte und Standardabweichungen)

4. LITERATURVERGLEICH UND DISKUSSION DER ERGEBNISSE

4.1 Isometrische und exzentrische Maximallast

Die Messungen der maximalen Lastwerte (= Tragfähigkeit) des m. triceps brachii im Verlaufe der Armbeugung von 30° bis 120° haben ergeben, daß das Maximum sowohl isometrisch ($\bar{x}$ = 150 N) als auch exzentrisch ($\bar{x}$ = 179 N) in der Beugestellung des Ellenbogengelenkes von α = 75° liegt. Dabei verlaufen die exzentrischen Werte durchschnittlich 22 % über den isometrischen Werten.

Sucht man Vergleiche in der Literatur, so zeigt sich zunächst, daß bisher nur sehr wenig über die maximale Muskelkraft des m. triceps brachii veröffentlicht worden ist. FRANKE (1920) und MORRIS (1948) haben versucht, aus isometrischen Lastwertmessungen am m. Triceps brachii die absolute Muskelkraft (s. Kapitel 4.5) zu berechnen. SINGH und KARPOVICH (1966) haben die maximale isometrische, exzentrische und konzentrische Muskellast des m. triceps brachii gemessen und die Zusammenhänge untersucht.

FRANKE (1920)
hat die Ergebnisse von 3 Vpn veröffentlicht, bei denen er die isometrische maximale Last des m. triceps brachii im Beugebereich von 20° bis 120° im Abstand von jeweils 20° bei waagerechter Stellung des Oberarmes gemessen hat. Die maximalen Lastwerte betragen bei ihm 300 bis 370 N und werdem in einem Beugewinkel von 110° bis 120° erreicht. Bei meinen Versuchen erreichte nur eine Vp den maximalen isometrischen Wert von 236 N (bei 75° Armbeugestellung). Der Unterschied liegt nicht etwa darin, daß FRANKE besonders kräftige Vpn ausgewählt hat sondern darin, daß die Meßanordnung von FRANKE das Einsetzen von Hilfsmuskulatur gestattete, also nicht nur die Muskel-

kraft des m. triceps brachii gemessen wurde. Ebenso geht aus seiner Versuchsanordnung nicht klar hervor, ob die Messungen rein isometrisch durchgeführt worden sind. Dadurch könnten die Lastwerte zu hoch liegen, und es könnte eine Verschiebung des Maximums in einen anderen Beugebereich stattgefunden haben. In meinen Voruntersuchungen fand ich, daß das Einsetzen von Hilfsmuskulatur bei stärkerer Beugestellung des Armes schwieriger auszuschalten ist, als in den Beugebereichen unter 100°.

MORRIS (1948)
bestimmte den isometrischen maximalen Lastwert des m. triceps brachii an 24 Vpn in der Armbeugestellung von 90°. Leider hat er nur die Ergebnisse einer Vp veröffentlicht. Bei dieser betrug der Maximalwert 220 N (50 lb). Die Versuchsanordnung wird nicht beschrieben. Ebenso wird die Armstellung während der Messung nicht angegeben.

SINGH und KARPOVICH (1966)
haben an 20 männlichen Vpn die maximalen isometrischen und exzentrischen Lastwerte (Tragfähigkeit) des m. triceps brachii in dem Armbeugebereich von 60° bis 140° im jeweiligen Abstand von 20° gemessen. Das Maximum der isometrischen und exzentrischen Last lag bei 80° Armbeugung. Das isometrische Lastwertmaximum betrug 129,5 N (29,43 lb), das exzentrische Lastwertmaximum betrug 136,8 N (31,08 lb). Die isometrischen Werte entsprechen annähernd den meinigen. Es wurde keine Berechnung des Muskelkraft aus den Lastwerten durchgeführt.

4.2 Isometrische und exzentrische Maximalkraft des m. triceps brachii

Die maximale isometrische und exzentrische Kraft des m. triceps brachii wurde für den Armbeugebereich von 30° bis 120° berechnet. Dabei wurde das Maximum in beiden Fällen -isometrisch mit gemittelt 1982 N, exzentrisch mit gemittelt 2357 N- im Armbeugewinkel von 90° erreicht. Die exzentrischen Werte lagen durchschnittlich 22 % über den isometrischen Werten. Der Muskel muß im Mittel das 13,4fache des Lastwertes an Kraft aufbringen. In meiner Versuchsanordnung blieb der Lastarm (u) durch den senkrechten Angriff der Last (Rollenübertragung) stets konstant. Jedoch änderte sich der Kraftarm (r) und der Hebelarm des Unterarmhandgewichtes (s), wie in den jeweiligen Kapiteln beschrieben wurde. Daher ist das Verhältnis der Muskelkraft zur aufgebrachten Last abhängig von diesen beiden Größen.

Entsprechende Berechnungen der Kraft des m. triceps brachii aus den gemessenen Lastwerten fanden sich in der Literatur nur bei FRANKE (1920) und MORRIS (1948).

FRANKE (1920)
bei dem bereits die gemessenen Lastwerte sehr hoch lagen, berechnete die maximale Kraft des m. triceps brachii mit 3409 N bis 4488 N bei einer Beugestellung des Armes von 110° bis 120°; den Kraftarm des m. triceps brachii bestimmt er mit 1,27 bis 4,72 cm. Dabei hat er jedoch nicht berücksichtigt, daß der Kraftarm aus anatomischen Gründen nicht kleiner als 2 cm werden kann (s. Kapitel Kraftarm des m. triceps brachii 3.1.3.1). Dadurch ergibt sich bei der Berechnung ein zu hoher Wert für die Muskelkraft. Weiterhin berücksichtigte er nicht, daß der Kraftarm von 97° bis 150° Armbeugestellung konstant bleibt, da die Tricepssehne in diesem Bereich über die Ellenbogengelenkrolle läuft. Außerdem nimmt er an, daß die Tricepssehne paral-

lel zur Oberarmachse verläuft. Ich konnte jedoch zeigen, daß die Tricepssehne mit der Oberarmachse einen Winkel von β 20° bildet, wie sich aus weichen Röntgenaufnahmen gezeigt hat; zudem hat FRANKE bei seinen Berechnungen das Armgewicht (das Drehmoment des Unterarmhandgewichtes betrug bei mir im Mittel 279 Ncm) nicht berücksichtigt, das in seiner Versuchsanordnung bei waagerechtem Oberarm in einem Beugewinkel über 90° vom m. triceps brachii noch zusätzlich gehalten werden muß, während es unter 90° den m. triceps brachii unterstützt.

MORRIS (1948)
berechnete an einer Vp die maximale Muskelkraft des m. triceps brachii mit 3481 N (791,14 lb) in dem Armbeugewinkel von 90°. Der Kraftarm des m. triceps brachii wurde von MORRIS zu klein berechnet, weil er nicht den Gelenkmittelpunkt sondern einen nicht näher definierten Punkt der Gelenkfläche als Bezugspunkt gewählt hat (Abb. 12) und den Abstand zwischen dem Bezugspunkt und dem Tricepssehnenansatz als Kraftarm nahm. Außerdem wurde nicht näher beschrieben, in welcher Armstellung der Lastwert gemessen wurde, und wie demzufolge das Armgewicht zu berücksichtigen ist.

Beugewinkel in Grad	Korrelationskoeffizient (r)
30	0,6124
45	0,7519
60	0,7468
75	0,7360
90	0,6976
105	0,5048
120	0,8086

Tab. : 19 Korrelationskoeffizient (r) zwischen isometrischen und exzentrischen Maximallastwerten

4.3 Differenz zwischen isometrischen und exzentrischen Werten und Statistik

Die Werte der gemessenen exzentrischen Last und der berechneten exzentrischen Muskelkraft liegen im Mittel 22 % über den isometrischen. Wegen der starken Streuung der Muskelkraft der einzelnen Vpn wurden alle Werte in Prozent zum jeweiligen Maximum der einzelnen Vp ausgedrückt.

Bei der Berechnung der Korrelationskoeffizienten (r) zwischen den einzelnen exzentrischen und isometrischen Lastwerten von 31 Vpn ergaben sich Werte zwischen 0,5048 bis 0,8086 (Tab. 19).

Tabelle 19
Korrelationskoeffizient (r) zwischen
isometrischen und exzentrischen Maximallastwerten

Der Korrelationskoeffizient unterschied sich also bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 1 % signifikant von Null, da bei 31 Vpn alle r-Werte über 0,45 liegen.

Um den Vertrauensbereich zu ermitteln, wurde anhand der z-Transformation ein mittlerer Korrelationskoeffizient von $\bar{r}$ = 0,701 errechnet. Bei 95 %iger Sicherheit liegt dann der Korrelationskoeffizient der Grundgesamtheit zwischen den isometrischen und exzentrischen Meßwerten im Bereich von 0,46 bis 0,85.

Anhand des t-Testes wurde geprüft, ob zwischen den isometrischen und exzentrischen Mittelwerten über alle Vpn ein signifikanter Unterschied besteht. Dabei ergab sich bei einem Freiheitsgrad von 29 und einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 1 % ein Wert für t von 12,35. Das besagt, daß zwischen den isometrischen und exzentrischen Mittelwerten ein signifikanter Unterschied be-

steht, da die Signifikanzgrenze von 2,756 laut Tabelle überschritten ist.

Da bereits bei den isometrischen Lastmessungen die maximale Kraft des m. triceps brachii gefordert worden war und dies auch durch eine 4fach-Bestimmung abgesichert wurde, erscheint es zunächst unverständlich, daß exzentrisch doch noch eine größere Kraft zu erzielen war. DOSS und KARPOVICH (1965), SINGH und KARPOVICH (1966) sowie KINPARA et al. (1970) fanden jedoch bereits bei Untersuchungen an den Armbeugern, daß die exzentrischen Maximalwerte um 13,5 %; 13,6 % sowei 30 bis 40 % über den isometrischen Werten liegen. Ergebnisse aus Untersuchungen am Armstrecker (isometrisch und exzentrisch) fanden sich nur bei SINGH und KARPOVICH (1966). Jedoch führten sie nur Lastwertbestimmungen durch und rechneten diese Werte nicht in die tatsächliche Muskelkraft um. Bei ihnen liegen die exzentrischen Lastwerte im Bereich der Armbeugung von 50° bis 90° bis zu über 6 % über den isometrischen. Im Armbeugebereich von 100° bis 140° jedoch liegen die exzentrischen Werte bis zu 29 % unter den isometrischen Werten. Die Verfasser nennen es jedoch selbst ein "irreführendes Ergebnis". Sie geben jedoch keine weiteren Erläuterungen dazu.

KINPARA et al. (1970) sowie KLAUCK (1973) haben versucht, eine Erklärung zu geben, warum die exzentrischen Muskelkraftwerte über den isometrischen liegen. Beide fanden im Elektromyogramm (EMG) bei exzentrischer Muskelkontraktion, daß die Zahl der an der Kontraktion beteiligten neuromuskulären Einheiten sowie die Impulsfrequenz an der einzelnen neuromuskulären Einheit zunimmt. Sie erklären dies durch zentrale Enthemmung, wodurch es zur Freisetzung physiologischer Muskelkraftreserven kommt, wie das auch durch Hypnose oder medikamentöse Beeinflussung bekannt ist (NICHOLSON 1920; EYSENCK 1941; ROUSH 1951; IKAI und STEINHAUS 1961).

4.4 Abhängigkeit der maximalen Muskelkraft von der Muskellänge des m. triceps brachii

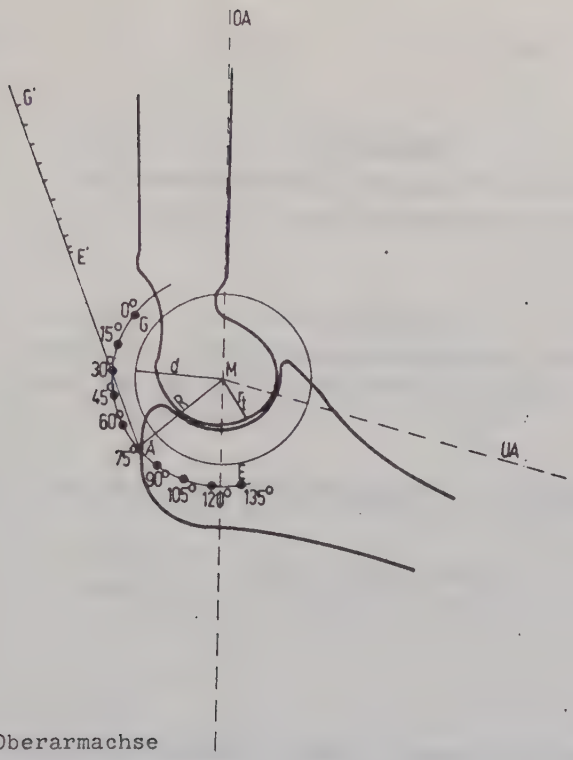
Zur Klärung der Frage des Zusammenhanges zwischen der Muskelkraft und der Länge des m. triceps brachii habe ich die Verkürzung des m. triceps brachii im Bereich der Armbeugung von 135° bis 0° konstruktiv anhand eines Fadenmodells und rechnerisch ermittelt.

4.4.1 Fadenmodell zur Messung der Verkürzung des m. triceps brachii im Armbeugebereich von 135° bis 0°

Nach seitlichen Röntgenfotos wurden maßstabgerecht die Gelenkflächen der Trochlea humeri und der Ulna aus Pappe nachgebildet und der Mittelpunkt festgelegt. Mit dem Radius d = 2 cm der dem kleinsten Abstand entspricht, in dem die Tricepssehne aus anatomischen Gründen an den Gelenkmittelpunkt heranreicht, wurde ein zweiter Kreis gebildet. Der Mittelpunkt des zweiten Kreises wurde mit dem Gelenkmittelpunkt der Trochlea humeri zur Deckung gebracht. Am gemittelten Tricepssehnenansatzpunkt (A) wurde ein Drahtfaden befestigt. Den Punkt, in dem A bei voller Streckung des Armes steht, nannte ich E. Den Punkt, in dem A bei 135° Armbeugung steht, nannte ich G. Die Strecke die A von 135° bis 0° Beugung zurücklegt war dann GE (Abb. 18). Streckte man nun das Gelenkmodell beginnend bei 135° um jeweils 15° und markierte den Drahtfaden in dem Punkt G, so erhielt man, nach dem die Beugestellung von 0° erreicht war, mit $\overline{GE}$ die gesamte Verkürzungsstrecke. Durch Ausmessen der einzelnen Markierungen auf dem Drahtfaden konnten die Verkürzungsstrecken pro 15° Beugung bestimmt werden. Die Gesamtverkürzung betrug 5,3 cm

Beugewinkel in Grad	Verkürzung in cm konstruktiv	berechnet	Berechnete Verkürzung in % der Gesamtverkürzung
135	0	0	0
120	0,6	0,68	13
105	1,2	1,35	25
90	1,9	2,05	39
75	2,5	2,70	51
60	3,2	3,40	64
45	3,7	4,10	77
30	4,3	4,70	89
15	4,7	5,10	96
0	5,3	5,30	100

Tab. : 20 Verkürzung des m. triceps brachii im Armbeugebereich von 135°bis 0°



OA : Oberarmachse
UA : Unterarmachse
M : Ellenbogengelenkmittelpunkt
A : gemittelter Tricepssehnenansatzpunkt
r_t : Radius der Trochlea humeri
d : minimaler Abstand der Tricepssehne vom Ellenbogengelenkmittelpunkt
G : Ansatzpunkt der Tricepssehne bei 0° Armbeugung
E : Ansatzpunkt der Tricepssehne bei Armbeugung um 135°
EG' : markierte Drahtstrecke während der Armstreckung von 135° bis 0°

Abb. : 18 Fadenmodell zur Bestimmung der Verkürzung des m. triceps brachii im Armbeugebereich von 135° bis 0°

(Tab. 20, Abb. 18).

Tabelle 20
Muskelverkürzung des m. triceps brachii
im Armbeugebereich von 135° bis 0°

Abbildung 18
Fadenmodell zur Bestimmung der Muskelverkürzung
des m. triceps brachii im Armbeugebereich von 135° bis 0°

4.4.2 Rechnerische Ermittlung der Verkürzung des m. triceps brachii im Armbeugebereich von 135° bis 0°

Definitionen :

l_o sei die Muskellänge des m. triceps brachii bei völliger Streckung
l_α sei die Muskellänge im Armbeugewinkel α
R sei der Abstand des gemittelten Tricepssehnenansatzpunktes zum Gelenkmittelpunkt = 2,6 cm
v sei die Muskelverkürzung
$\alpha_ü$ sei der Armbeugewinkel im Übergang des freien Tricepssehnenverlaufs in den durch die Trochlea humeri geführten Sehnenverlauf = 97° ± 6°

Die Ermittlung der Werte für R und $\alpha_ü$ wurden bereits im Kapitel 3.1.3.1 Kraftarm des m. triceps brachii besprochen.

Im Winkelbereich von 135° bis 97° gilt :

$$l_\alpha = l_o + R \cdot \bar{\alpha}_ü + R (\bar{\alpha} - \bar{\alpha}_ü)$$

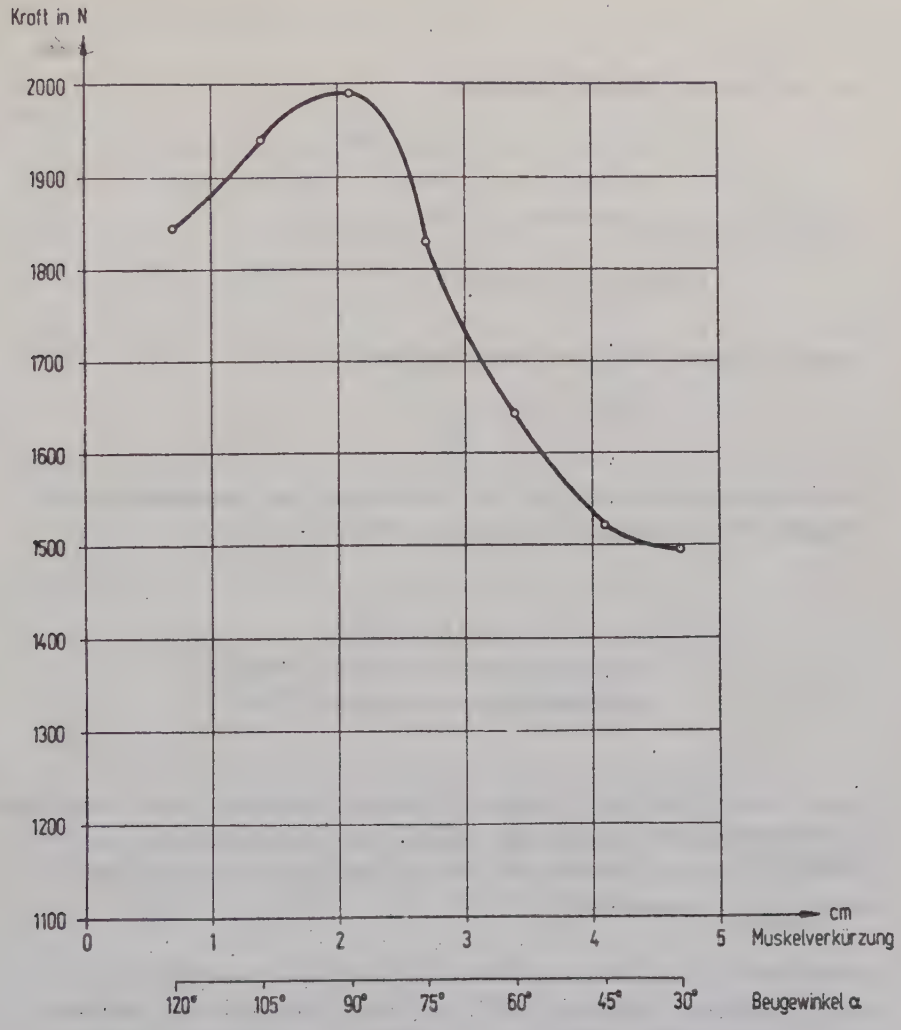


Abb. : 19 Muskelverkürzung im Verhältnis zur isometrischen Kraft des m. triceps brachii im Armbeugebereich von 120° bis 30°

die Verkürzung beträgt demnach :

$$v = R \cdot \bar{\alpha}_u + R (\bar{\alpha} - \bar{\alpha}_u)$$

Im Winkelbereich von 97° bis 15° gilt :

$$l_\alpha = l_o + R \cdot \bar{\alpha}$$

daraus ergibt sich die Verkürzung mit :

$$v = R \cdot \bar{\alpha}$$

Dabei ergibt sich wie bei der Ermittlung am Fadenmodell eine Gesamtverkürzung von 5,3 cm (Tab. 20).

Tabelle 20
Verkürzung des m. triceps brachii
im Armbeugebereich von 135° bis 0°

Dabei ist zu berücksichtigen,daß nicht die wirkliche Verkürzung des muskulösen Teils des m. triceps brachii gemessen und berechnet wurde,sondern nur die Verkürzung der Resultierenden aller 3 Muskelköpfe.

Trägt man nun die Muskelverkürzung und die Muskelkraft bei entsprechendem Armwinkel auf, so zeigt sich,daß das Maximum der Muskelkraft im Winkel von 90° liegt, in dem der Muskel noch nicht maximal physiologisch gedehnt ist. Das heißt, daß nach meinen Beobachtungen bei physiologischer Maximallänge des m. triceps brachii die Muskelkraft ihr Maximum bereits überschritten hat (Abb. 19, 20).

Abbildung 19
Muskelverkürzung im Verhältnis zur isometrischen Kraft des m. triceps brachii im Armbeugebereich von 120° bis 30°

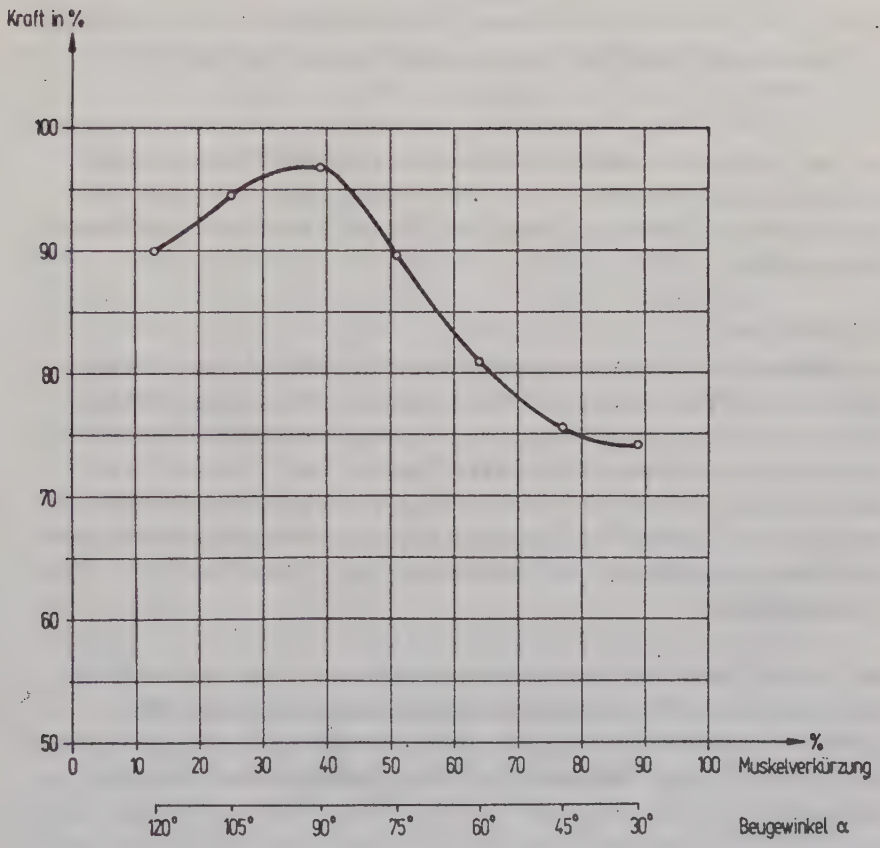


Abb.: 20 Prozentuale isometrische Kraft im Verhältnis zur prozentualen Muskelverkürzung im Armbeugebereich von 120° bis 30°

Abbildung 20
Prozentuale isometrische Kraft im Verhältnis zur prozentualen Muskelverkürzung im Armbeugebereich von 120° bis 30°

Bei der Durchsicht der Literatur zur Klärung der Frage des Zusammenhanges zwischen Kraft und Länge, speziell am m. triceps brachii, fanden sich nur bei FRANKE (1920) vergleichbare Bedingungen.

FRANKE (1920)
errechnete bei einer Armbeugung von 130° bis 0° eine Verkürzung des m. triceps brachii um 5,13 cm. Anhand eines Holzmodelles konnte er eine Verkürzung von 4,6 cm messen. Mit Hilfe eines anatomischen Präparates fand er nur 4,05 cm Verkürzung. Ebenso wie bei mir wurde nicht die wirkliche Verkürzung des muskulären Teils des m. triceps brachii gemessen und berechnet, sondern nur die Verkürzung der Resultierenden aller 3 Muskelköpfe.

Bei FRANKE liegt das Maximum der Kraft von 2 Vpn bei 110° und von 1 Vp bei 120°, die größte Muskellänge jedoch bei 140°. Das Maximum der Kraft liegt also, wie bei mir, auch nicht bei der größten Länge, sondern ist schon vorher überschritten worden.

SCHWANN (1837)
hat die Kraft des m. sartorius des Frosches bei verschiedenen Längen am isolierten Präparat untersucht. Ähnliche Versuche, in Anlehnung an den SCHWANNschen Versuch haben VALENTIN (1844) am isolierten m. sartorius, m. gastrocnemius und m. rectus abdom. des Frosches, WEBER (1846) am isolierten Zungenmuskel des Frosches und HERMANN (1871) am m. gastrocnemius des Frosches durchgeführt. Alle stimmten in ihren Ergebnissen dahingehend überein, daß die Muskelkraft mit Zunahme der Muskellänge im physiologischen Bereich zunimmt.

Die Ergebnisse lassen sich nicht mit meinen Ergebnissen ver-

gleichen, denn SCHWANN, VALENTIN, WEBER und HERMANN haben isolierte Muskelpräparate untersucht, die tatsächlichen in-vivo-Verhältnisse wurden dabei nicht berücksichtigt. So könnte z. B. eine zentrale Hemmung des Muskels in den höheren Beugebereichen eine Abnahme der Muskelkraft bewirken, die am isolierten Muskelpräparat nicht auftreten kann.

Untersuchungen am lebenden Menschen haben WEBER (1846) und REIJS (1921), beide am Wadenmuskel, durchgeführt. Auch sie fanden bei größter Muskellänge die größte Muskelkraft. Jedoch lassen sich auch diese Ergebnisse nicht mit den Ergebnissen der Untersucherin vergleichen, da der Wadenmuskel in seinem Aufbau von dem des gefiederten 3köpfigen Unterarmstreckers stark differiert.

HETTINGER (1961)
übernimmt die Werte von REIJS (1921) und von BETHE und FISCHER (1928). Diese haben die maximale Belastbarkeit der Unterarmbeuger bei verschiedenen Winkelstellungen des Unterarmes gegen den Oberarm gemessen. Dabei zeigte sich, daß die größte Belastbarkeit im Armbeugebereich von 80° bis 100° (0° = volle Armstreckung) auftritt. Die gleichen Ergebnisse, nämlich größte Belastbarkeit der Armbeuger im Armbeugewinkel von 90° sind von ROHMERT und HETTINGER (1963) nach Messungen von CLARKE und WAKIM (leider findet sich dabei keine nähere Literaturangabe) veröffentlicht worden. Die größte Länge der Armbeuger findet sich jedoch bei 0°, also bei voller Armstrekkung. Das heißt, diese Untersucher fanden bei den Unterarmbeugern, so wie ich bei den Unterarmstreckern, daß die größte Belastbarkeit nicht bei der größten physiologischen Länge liegt. Sondern, wenn der Muskel seine größte physiologische Länge erreicht hat, hat die Belastbarkeit bereits wieder abgenommen. HETTINGER gibt als Begründung dafür, daß die Belastbarkeit in Abhängigkeit von der Armbeugestellung nicht linear verläuft, an, daß in den verschiedenen Winkelstellungen verschiedene Muskelpartien oder sogar verschiedene Muskeln zum Einsatz kommen, deren Anteil an der gemessenen Last sich

nicht ohne weiteres differenzieren ließe.

Zur vollständigen Klärung dieser Frage müssen weitere Untersuchungen durchgeführt werden.

4.5 Zur Frage der absoluten Muskelkraft

Es bietet sich an, aus der berechneten tatsächlichen Muskelkraft die absolute Muskelkraft zu bestimmen.

HAVENER (1970) kam nach der Durchsicht der Literatur über die absolute Muskelkraft zu folgender Definition :

"Die absolute Muskelkraft ist die Maximalkraft bei willkürlicher Kontraktion des Muskels bei maximaler physiologischer Dehnung, bezogen auf die Einheit des Muskelquerschnittes von 1 cm^2 in dieser Stellung".

Da am m. triceps brachii die maximale Kraft nicht bei m a x i m a l e r physiologischer Dehnung sondern bei 90^o vorliegt sollte diese Definition nach meinen Untersuchungen korrigiert werden. Ich schlage folgende Definition vor :

"Die absolute Muskelkraft ist die Maximalkraft bei willkürlicher Kontraktion des Muskels bei o p t i m a l e r physiologischer Dehnung, bezogen auf die Einheit des Muskelquerschnittes von 1 cm^2 in dieser Stellung".

Um die absolute Muskelkraft eines Muskels zu bestimmen, müßte zunächst der Verlauf der Muskelkraft im Verlauf der Muskellänge bestimmt werden, wie ich es hier für den m. triceps brachii getan habe. Bei optimaler physiologischer Dehnung, also im M a x i m u m d e r M u s k e l k r a f t müßte dann der a n a t o m i s c h e M u s k e l q u e r s c h n i t t gemessen werden. IKAI und FUKANAGA (1968) haben mit der Ultraschallmethode eine Möglichkeit zur Umfangbestimmurg am Lebenden angegeben.

Weiterhin wäre bei gefiederten Muskeln wie dem m. triceps brachii der p h y s i o l o g i s c h e M u s k e l q u e r s c h n i t t zu bestimmen. Das erfordert die zusätzliche Bestimmung des F i e d e r u n g s w i n k e l s unterder Berücksichtigung der Tatsache, daß der Muskelquerschnitt infolge der Fiederung der kurzen Muskelfasern und der

Länge des m. triceps brachii nicht nur einmal vorhanden ist (HAXTON 1944, GROH 1971).

Eine endgültige Berechnung der absoluten Muskelkraft wird erst möglich sein, wenn diese Voraussetzungen berücksichtigt worden sind.

5. ZUSAMMENFASSUNG

Die isometrische und exzentrische Maximalkraft des m. triceps brachii wurde aus Messungen der aufgebrachten maximalen Lastwerte mit Hilfe der Drehmomentengleichung, also unter Berücksichtigung des Lastarmes und des Kraftarmes berechnet. Die Messungen der maximalen Lastwerte wurden mit 31 männlichen Sportstudenten der Deutschen Sporthochschule, Köln im Alter von 19 bis 29 Jahren (im Mittel 22,7 Jahre) an dem im Institut für Biomechanik entwickelten Armkraftmeßgerät durchgeführt. Die Messung der isometrischen und exzentrischen Last erfolgte -stets bei senkrechtem Oberarm- jeweils in 7 Stufen zu je 15° im Bereich der Ellenbogenbeugung von 30° bis 120°.

Das Maximum der gemessenen Lastwerte wurde in einer Winkelstellung des Ellenbogengelenkes von 75° erreicht. In dieser Stellung betrugen die isometrischen maximalen Lastwerte im Mittel $\bar{x}$ = 150 N bei einer Standardabweichung s = 28 N, was einem Variabilitätskoeffizienten v = 18,1 % entspricht. Die entsprechenden exzentrischen maximalen Lastwerte zeigten einen Mittelwert $\bar{x}$ von 179 N bei einer Standardabweichung s = 32 N und damit einem Variabilitätskoeffizienten v von 18,1 %.

Bei quasi-statischer exzentrischer Messung kann eine im Mittel 22 % größere maximale Last als bei der isometrischen Messung gehalten werden.

Der Lastarm (u) wurde an jeder Vp ausgemessen und blieb für die jeweilige Vp konstant. Die jeweiligen Lastarmwerte lagen im Bereich von 30,9 cm bis 36,5 cm.

Der Kraftarm des m. triceps brachii betrug 2,0 cm bis 2,6 cm. Er hatte sein Maximum in der Beugestellung des Ellenbogengelenkes von 60°. In den unteren Armbeugebereichen (0° bis 97°), in denen die Tricepssehne frei verläuft (kein Hypomochleon), ändert sich der Kraftarm stetig. Im oberen Armbeugebereich

(97° bis 135°), in dem die Tricepssehne über die Oberarmrolle als Hypomochleon läuft, bleibt der Kraftarm konstant. Der Übergangsbereich vom freien zum geführten Tricepssehnenverlauf wurde rechnerisch mit $97^{\circ} \pm 6^{\circ}$ Armbeugung bestimmt.

Die errechnete Maximalkraft des m. triceps brachii lag sowohl isometrisch als auch exzentrisch bei einer Beugestellung des Ellenbogengelenkes von 90°. Die isometrischen Maximalkraftwerte wurden im Mittel mit $\bar{x}$ = 1982 N (s= 414 N; v = 20,9 %) berechnet. Die exzentrischen Maximalkraftwerte betrugen im Mittel $\bar{x}$ = 2357 N (s = 440 N; v = 18,7 %).

Um eine isometrische Tragfähigkeit von 150 N zu erzielen, muß der m. triceps brachii eine Kraft von 1982 N aufbringen. Einer exzentrisch gemessenen Last von 179 N entspricht eine Kraft des m. triceps brachii von 2357 N. Der m. triceps brachii muß also sowohl isometrisch als auch exzentrisch das 13,2fache der gemessenen Last als Kraft aufbringen.

In der Literatur fanden sich nur wenige Veröffentlichungen der Messungen der Tragfähigkeit und Berechnung der Kraft des m. triceps brachii (FRANKE, F.,1920; MORRIS, C. B.,1948 ; SINGH, M. und P. V. KARPOVICH,1966).

Die Ergebnisse von FRANKE (1920) sind mit meinen Ergebnissen nicht zu vergleichen, da die Versuchsanordnung von FRANKE ungenau war, so daß Hilfsmuskeln miteingesetzt werden konnten.

Bei MORRIS (1948) findet sich keine Beschreibung der Versuchsanordnung und der Armstellung im Versuch.

SINGH und KARPOVICH (1966) fanden für die Tragfähigkeit des m. triceps brachii mit meinen Werten (isometrisch) übereinstimmende Werte. Ihr Maximum liegt bei 80° Armbeugestellung und beträgt isometrisch gemessen 129,5 N und exzentrisch gemessen 136,8 N. Eine Berechnung der Muskelkraft aus den gemessenen Lastwerten wurde von ihnen jedoch nicht durchgeführt.

Zur Darstellung der Abhängigkeit der Muskelkraft von der Muskellänge wurde die Verkürzung des m. triceps brachii im Armbeugebereich von 135° bis 0° konstruktiv und rechnerisch ermittelt. Dabei ergab sich eine Gesamtverkürzung von 5,3 cm. Da das Maximum der Muskelkraft des m. triceps brachii im Armbeugewinkel von 90° erreicht wurde, ist bei physiologischer Maximallänge des m. triceps brachii (135° Armbeugung) das Maximum der Muskelkraft bereits überschritten.

6. VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN

Abb. : 1 Armkraftmeßgerät des Institutes für Biomechanik

Abb. : 2a Meßapparatur -mechanischer Teil- von der der Vp zugewandten Seite aus gesehen

Abb. : 2b Meßapparatur -mechanischer Teil- von der der Vp abgewandten Seite aus gesehen

Abb. : 3 Eichkurve des DMS-Dynamometers

Abb. : 4 Winkel-, Kraft- und Eichkurve des Lichtstrahl-oscillographen

Abb. : 5 Isometrische und exzentrische Maximallastwerte (Mittelwerte und Standardabweichungen)

Abb. : 6 Isometrische und exzentrische Maximallastwerte in Prozent des jeweiligen Lastwertmaximums der einzelnen Vpn (Mittelwerte und Standardabweichungen)

Abb. : 7 Exzentrische Maximallastwerte in Prozent der isometrischen Maximallastwerte (Mittelwerte und Standardabweichungen)

Abb. : 8 Drehmomente der isometrischen und exzentrischen Last (Mittelwerte und Standardabweichungen)

Abb. : 9 Armmodell I zur Bestimmung des Kraftarmes (r) des m. triceps brachii bei freiem Tricepssehnenverlauf

Abb. : 10 Röntgenpause zur Bestimmung des Winkels β

Abb. : 11 Röntgenpause zur Bestimmung des Winkels γ sowie des Radius (d)

Abb. : 12 Bestimmung des Kraftarmes C des m. triceps brachii nach MORRIS (1948)

Abb. : 13 Armmodell II zur Bestimmung des Grenzwinkelbereiches in dem die Tricepssehne von ihrem freien in den geführten Verlauf übergeht

Abb. : 14 Kraftarm (r) des m. triceps brachii in dem Armbeugebereich von 30° - 120°

Abb. : 15 Maximale isometrische und exzentrische Muskel-

kraft ($K_{Mi,Me}$) (Mittelwerte und Standardabweichungen)

Abb. : 16 Maximale isometrische und exzentrische Muskelkraft ($K_{Mi,Me}$) in Prozent des jeweiligen Kraftmaximums der einzelnen Vpn (Mittelwerte und Stadardabweichungen)

Abb. : 17 Drehmomente der isometrischen und exzentrischen Maximalkraft (Mittelwerte und Standardabweichungen)

Abb. : 18 Fadenmodell zur Bestimmung der Verkürzung des m. triceps brachii im Armbeugebereich von 135° bis 0°

Abb. : 19 Muskelverkürzung im Verhältnis zur isometrischen Kraft des m. triceps brachii im Armbeugebereich von 120° bis 30°

Abb. : 20 Prozentuale isometrische Kraft im Verhältnis zur prozentualen Muskelverkürzung im Armbeugebereich von 120° bis 30°

7. VERZEICHNIS DER TABELLEN

Tab. : 1 Daten der Versuchspersonen

Tab. : 2 Eichwerte des DMS-Dynamometers

Tab. : 3 Isometrische Maximallastwerte der einzelnen Vpn

Tab. : 4 Isometrische Maximallastwerte in Prozent des jeweiligen Lastwertmaximums der einzelnen Vpn

Tab. : 5 Exzentrische Maximallastwerte der einzelnen Vpn

Tab. : 6 Exzentrische Maximallastwerte in Prozent des jeweiligen Lastwertmaximums der einzelnen Vpn

Tab. : 7 Exzentrische Maximallastwerte in Prozent der isometrischen Maximallastwerte der einzelnen Vpn

Tab. : 8 Lastarm (u), Unterarmlänge, Unterarm- und Handgewicht sowie Schwerpunktsradius von Unterarm und Hand der einzelnen Vpn

Tab. : 9 Drehmomente der isometrischen Last der einzelnen Vpn

Tab. : 10 Drehmomente der exzentrischen Last der einzelnen Vpn

Tab. : 11 Drehmomente der Gewichtskraft von Unterarm und Hand der einzelnen Vpn

Tab. : 12 Kraftarm (r) des m. triceps brachii in dem Armbeugebereich von 30° bis 120°

Tab. : 13 Maximale isometrische Muskelkraft der einzelnen Vpn

Tab. : 14 Maximale isometrische Muskelkraft in Prozent des jeweiligen Kraftmaximums der einzelnen Vpn

Tab. : 15 Maximale exzentrische Muskelkraft der einzelnen Vpn

Tab. : 16 Maximale exzentrische Muskelkraft in Prozent des jeweiligen Kraftmaximums der einzelnen Vpn

Tab. : 17 Drehmomente der isometrischen Kraft der einzelnen Vpn

Tab. : 18 Drehmomente der exzentrischen Kraft der einzel-

nen Vpn

Tab. : 19 Korrelationskoeffizient (r) zwischen isometrischen und exzentrischen Maximallastwerten

Tab. : 20 Verkürzung des m. triceps brachii im Armbeugebereich von 135° bis 0°

8. LITERATURVERZEICHNIS

ASMUSSEN, E.; HANSEN, Y. O.; LAMMER, O. : The relation between isometric and dynamic muscle strength in man
Communication from the Danish Nation. Ass. f. Infantile Paralysis 20 (1965)

BETHE, A.; FISCHER, E. : Kraftmessungen an Teilnehmern der Olympiade in Amsterdam (1928)
Arbeitsphysiologie 1 : 600 (1928)

CLARKE, H. H.; WAKIM, K. G. : Relationship between body position and the application of muscle power to movement of the joints
Archiv of Physical Medicine and Rehabilitation 31 : 81ff Chicago (1950)

DEMPSTER, W. : Space requirements of the seated operator
WADC Technical Report 55-159, July (1955)
Report released of the Office of Technical Services, U. S. Dept. of Commerce, Washington 25, D. C.

DOSS, W. S.; KARPOVICH, P. V. : A comparison of concentric, eccentric and isometric strength of elbow flexors
Physiol. Res. Lab., Springfield Colleg., Mass. (1964)
auch erschienen in :
Journal of Applied Physiology 20 : 351 - 353 (1965)

EYSENCK, H. J. : An experimental study of the improvement of mental and physical functions in the hypnotic state
Brit. J. Med. Psychol. 18 : 304 - 316 (1941)

FRANKE, F. : Die Kraftkurve menschlicher Muskeln bei willkürlicher Innervation und die Frage der absoluten Muskelkraft
Pflügers Archiv der gesamten Physiologie des Menschen und der Tiere 184 : 300ff (1920)

GROH, H. : Zur Frage der Trainierbarkeit des Muskels
Institut für Biomechanik, DSHS Köln (1971)

ders. : Einige grundsätzliche Fragen zur Muskelkraftmessung
Institut für Biomechanik, DSHS Köln (1971)

ders. et al. : Über die Berechnung der statischen und dynamischen Muskelkräfte bei menschlichen Bewegungsabläufen
Institut für Biomechanik, DSHS Köln (1971)

HANAVAN, E. P. Jr.: A mathematical model of the human body
Air Force System Command. Wright- Patterson Air Force Base, Ohio (1964)

HAVENER, M. : Zur Geschichte der Untersuchung über die absolute Muskelkraft
Dissertation, Institut für Biomechanik, DSHS Köln (1970)

HAXTON, H. A. : Absolute muscle force in the ancle flexors of man
J. Physiol. 103 : 267 -273 (1944)

HERMANN, L. : Über die Abnahme der Muskelkraft während der Kontraktion
Pflügers Archiv der gesamten Physiologie des Menschen und der Tiere 195 - 200 (1871)

HETTINGER, Th. : Physiology of strength

Springfield III, Thomas (1961) S. 14

IKAI, M.; FUKANAGA, T. : Calculation of muscle strength per unit crossectional area of human muscle by means of ultrasonic measurement
Int. Z. angew. Physiol. einschl. Arbeitsphysiol. 26 : 26 - 32 (1968)

IKAI, M.; STEINHAUS, A. H.: Some factors modifying the expression of human strength
J. of Applied Physiology 16 : 157ff (1961)

JANKER, : Röntgenfilm IV aus Menschenkunde und Gesundheitslehre : Ellenbogengelenk und Gelenk der Hand
F 178, München (1937)

KINPARA, I. et al.: Fundamental studies on muscle strength (Part 2) - On the special quality of eccentric strength
Bull. Inst. Sport Science 8 : 26 - 53
Tokyo (1970)

KLAUCK, J. : Persönliche Mitteilungen (1973)

KOGI, K.; MÜLLER, E. A.; ROHMERT, W. : Die relative Wirkung isometrischen und dynamischen Trainings auf die Ausdauer bei dynamischer Arbeit
Int. Z. angew. Physiol. einschl. Arbeitsphysiol. 20 : 465 - 481 (1965)

MORRIS, C. B. : The measurement of the strength of muscle relative to the cross-section
Research Quarterly Am. Ass. Hlth. phys. Ed. 19 : 295 - 303 (1948)

MÜLLER, E. A. : Einfluß von Training und Muskeltätigkeit auf die maximale Muskelkraft

in Rohmert, W. :
Muskelarbeit und Muskeltraining
Schriftenreihe Arbeitsmedizin, Sozialmedizin und Arbeitshygiene 22 : 13ff (1968)

MÜLLER, E. A.; ROHMERT, W. : Die Geschwindigkeit der Muskelkraftzunahme bei isometrischem Training
Int. Z. angew. Physiol. einschl. Arbeitsphysiol. 19 : 403 - 419 (1963)

NICHOLSON, N. C.: Notes on muscular work under hypnosis
John Hopk. Hosp. Bull. 31 : 89ff (1920)

PROVINS, K. A.; SALTER, N. : Maximum torque exerted about the elbow joint
Journal of Applied Physiology 7 : 393ff (1955)

Reijs, J. H. O. : Über die Veränderung der Kraft während der Bewegung
Pflügers Archiv der gesamten Physiologie des Menschen und der Tiere 191 : 234ff (1921)

ROHMERT, W. : Muskelarbeit und Muskeltraining
Schriftenreihe Arbeitsmedizin, Sozialmedizin und Arbeitshygiene 22 : 118 - 135 (1968)

ROHMERT, W.; HETTINGER, Th. : Arbeitsgestaltung und Muskelermüdung
RKW - Reihe Arbeitsphysiologie und Arbeitspsychologie, Berlin - Köln - Frankfurt (1963)

ders. : Körperkräfte im Bewegungsraum
RKW - Reihe Arbeitsphysiologie und Arbeitspsychologie, Berlin - Köln - Frankfurt (1963)

ROUSH, E. S. : Strength and endurance in the waking and hypnotic states

Journal of Applied Physiology 3 : 404 - 410 (1951)

SCHWANN, : in Müllers Physiologie Band II 1. Ausgabe S. 59ff (1837)

SINGH, M.; KARPOVICH, P. V.: Isotonic and isometric forces of forearm flexors and extensors Journal of Applied Physiology 21 : 1435ff (1966)

WEBER, Ed. F. : Muskelbewegung Handwörterbuch der Physiologie und physiol. Pathologie, 3. Band, 2. Abteilung, 1 - 122 Verlag F. Vieweg, Braunschweig (1846)

VALENTIN, G. : Lehrbuch der Physiologie des Menschen Band II, S. 170 (1844) zitiert in WEBER, Ed. F. (1846)

9. SCHLUSSBEMERKUNG

Herrn Professor Dr. med. H. Groh danke ich für die Überlassung des Themas und die tatkräftige Unterstützung, die er mir zuteil werden ließ

Allen Mitarbeitern des Institutes für Biomechanik danke ich für die freundliche Unterstützung bei den Versuchen.

Besonderen Dank aussprechen möchte ich Herrn Diplom-Physiker J. Klauck für seine Beratung in physikalischen und statistischen Fragen.

Herrn Diplom-Physiker P. Galbierz danke ich für die Erstellung der Programme im Rahmen der Auswertung der Versuchsergebnisse am Tischrechner.

Der technischen Zeichnerin Frau G. Klauck danke ich für die sorgfältige Ausführung des Bildmaterials und der Reinschrift des Manuskriptes.

Dem Sportärztlichen Dienst der DSHS unter der Leitung von Herrn Dr. med. Bonnekoh danke ich für die zeitweise Überlassung der Röntgeneinrichtung.

LEBENSLAUF

Name : Edeltraud Haberkorn-Butendeich, geb. Staudenmaier

geboren : am 21. September 1943 in Berlin-Dahlem

Eltern : Karl Staudenmaier, verstorben
Gertrud Staudenmaier, geb. Parduhn

Schulausbildung : 1950 bis 1954 Volksschule in Friedberg/Hessen
1954 bis 1956 "Schillerschule", Gymnasium für Mädchen in Friedberg/Hessen
1957 bis 1963 Gymnasium Michelstadt/Hessen

Abitur : Februar 1963

Studium : Medizinstudium an den Universitäten Marburg, Kiel, Mainz

Staatsexamen : Dezember 1969 in Mainz

Medizinalassistentenzeit :

Chirurgie : 4 Monate am St. Franziskus-Hospital in Flensburg

Innere : 4 Monate am Gemeindekrankenhaus in Hermülheim bei Köln

Gynäkologie : 4 Monate am Gemeindekrankenhaus in Hermülheim bei Köln

Approbation : April 1971

Arzttätigkeiten : Institut für Laboratoriumsdiagnostik Dr. Lass in Flensburg : 1. Juli bis 31 August 1971
Landarztvertretung : 1. September bis 28. Februar mit kurzen Unterbrechungen
Institut für Biomechanik der Deutschen Sporthochschule, Köln : seit 1. April 1972